aic

152

dicembre 2014

ISSN 2282-472X

Bollettino della Associazione Italiana di Cartografia

EUT

Editore
Associazione Italiana di Cartografia
Autorizzazione del Tribunale di Firenze n. 1564 del 30/12/1964

Direttore responsabile
Giuseppe Scanu (Presidente AIC)
e-mail: gscanu@uniss.it

Redazione
Giuseppe Borruso, Andrea Favretto, Giovanni Mauro, Raffaela Gabriella Rizzo
e-mail: segretaria_cs@aic-cartografia.it

Comitato Scientifico
Giuseppe Borruso (Presidente)
Milena Bertacchini, Andrea Favretto, Giovanni Mauro, Alessandro Nobili,
Raffaela Gabriella Rizzo, Sandro Savino, Domenico Tacchia

Gli articoli inviati al Bollettino vengono sottoposti, in forma anonima, al giudizio di due o più *referees*. Gli scritti pubblicati impegnano solo la responsabilità dell'autore.

Gli articoli referati sono contrassegnati dal logo

Questo volume è stato realizzato con il contributo di

Opera sottoposta a *peer review* secondo
il protocollo UPI – University Press Italiane

© copyright Edizioni Università di Trieste, Trieste 2014

Proprietà letteraria riservata.
I diritti di traduzione, memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento totale e parziale di questa
pubblicazione, con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm,
le fotocopie e altro) sono riservati per tutti i paesi.

ISSN 2282-472X

EUT Edizioni Università di Trieste
via Weiss 21, 34128 Trieste
http://eut.units.it
https://www.facebook.com/EUTEdizioniUniversitaTrieste

INDICE

4 | GUIDO LUCARNO
L'orario grafico: impieghi tradizionali e innovativi di un cartogramma
per la gestione delle infrastrutture
The Graphic time-table: traditional and innovative use of a cartogram
for infrastructures management

20 | MARIA RONZA
Oltre le metropoli: il supporto della cartografia per una nuova regionalizzazione.
Il caso dell'area tra Roma e Napoli
Beyond the metropolis: the cartography to define new regions.
The area between Rome and Naples

36 | GIORGIA IOVINO
Le fonti informative per il monitoraggio del consumo di suolo
Information sources for monitoring land take

56 | GIAN PIETRO ZACCOMER, LUCA GRASSETTI
La cartografia come strumento di interpretazione dei risultati di un modello di scomposizione
spaziale: nuove proposte con applicazione al caso dell'occupazione in Friuli Venezia Giulia
Cartography as a tool for interpreting the results of spatial decomposition: new proposals with
application to the analysis of employment in Friuli Venezia Giulia

73 | FRANCESCO BALDUCCI
La localizzazione delle attività economiche nel territorio: concentrazione e polarizzazione
dei settori in un'applicazione GIS
The spatial location of firms: distributional clustering and sectorial polarization in a GIS

90 | STEFANIA PALMENTIERI
Il supporto cartografico nella prevenzione del Rischio e nella pianificazione. L'Area Flegrea
The cartographic support in Risk prevention and planning. The Campi Flegrei Area

104 | MASSIMILIANO SCHERBI
Le applicazioni per dispositivi mobili e il loro utilizzo in campo cartografico.
L'esempio della app GISLAB-UNITS
Mobile apps and their use in the cartography's field. The GISLAB-UNITS case

113 | EMANUELE TUFAROLO
Auto-calibrazione di fotocamere digitali amatoriali applicata a tecniche di acquisizione
multi-scala in fotogrammetria dei vicini
Digital camera self-calibration for multi-scale acquisition technique in close-range
photogrammetry

130 | Errata corrige

L'orario grafico: impieghi tradizionali e innovativi di un cartogramma per la gestione delle infrastrutture

The Graphic time-table: traditional and innovative use of a cartogram for infrastructures management

GUIDO LUCARNO*

Riassunto

L'orario grafico è un particolare tipo di cartogramma, a sviluppo bidimensionale spazio-temporale, da tempo impiegato nella rappresentazione di fenomeni trasportistici, nel controllo e nella programmazione di flussi di traffico ferroviario. Lo strumento ha visto, negli ultimi decenni, una sempre maggiore diffusione nella gestione dei flussi con l'ausilio di sistemi informatizzati che realizzano le rappresentazioni cartografiche in tempo reale. Più recentemente, per la prima volta in Italia, lo strumento è stato impiegato anche per la programmazione della gestione centralizzata di idrovie durante lo studio di fattibilità relativo a progetti per la realizzazione di nuove infrastrutture fluviali in Lombardia.

Parole chiave

Geografia dei trasporti, orario grafico, cartogramma

Abstract

The graphic time-table is a special kind of cartogram, developing in two dimensions (space and time), used in the representation of transport matters, in the control and managing of traffic flows. The cartogram has increased its diffusion in recent decades in the management of the railway traffic flows, supported by computerized systems that perform cartographic representations in real time. More recently, for the first time in Italy, the instrument was also used for programming the centralized management of waterways during the preliminary studies of new river infrastructures construction in Lombardy.

Keywords

Transport Geography, graphic time-table, cartogram

* Dipartimento di Storia, Archeologia e Storia dell'Arte – Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano

1. Premessa

Un cartogramma è una rappresentazione cartografica con una base topografica sulla quale vengono riportati dati qualitativi o quantitativi, in modo da ottenere un'immagine che consenta una più immediata visione e comprensione della distribuzione spaziale del fenomeno descritto. Un cartogramma classico ha uno sviluppo bidimensionale, che corrisponde alla base cartografica, su cui i dati sono inseriti con soluzioni grafiche che ne consentono la valutazione quantitativa (ad esempio istogrammi, o numero di punti proporzionali all'intensità del fenomeno), o con simboli che ne facciano apprezzare anche le differenze qualitative (ad esempio icone di forma o colore diverso per distinguere oggetti con differenti caratteristiche) o temporali, come isolinee che descrivono lo stato di evoluzione nel tempo di un determinato processo sulla superficie terrestre. Un cartogramma fornisce la fotografia istantanea di un fenomeno in un momento della sua evoluzione, ma non è generalmente in grado di tracciarne la storia pregressa, né, tantomeno, di prevederne l'andamento futuro.

Esistono invece particolari tipi di cartogramma che utilizzano, sul piano della carta, una sola dimensione spaziale, riservando la seconda al tempo. In questo modo è possibile apprezzare l'evoluzione spazio-temporale del fenomeno descritto e, in condizioni particolari, formulare anche previsioni sul suo assetto in un futuro di breve e medio termine. I vantaggi sono evidenti quando lo strumento deve governare processi complessi o ottimizzare l'impiego di risorse che variano nel tempo. Inoltre, il supporto di un cartogramma bidimensionale (un foglio di carta, lo schermo di un computer) non richiede particolari tecnologie o *software* che altrove realizzano immagini tridimensionali. Per contro, tuttavia, non è possibile descrivere fenomeni che evolvono su uno spazio piano, ma solo su uno monodimensionale. Per tale motivo questi cartogrammi descrivono l'evoluzione nel tempo di spazi a sviluppo lineare, come le infrastrutture, e trovano impiego nella programmazione e nella gestione di flussi di traffico.

2. L'orario grafico

L'orario grafico è un cartogramma che descrive l'evoluzione nel tempo di uno spazio monodimensionale, come ad esempio una linea ferroviaria. Ha la struttura di un piano cartesiano ad assi ortogonali orientati non monometrici. Di norma, alla variabile indipendente (tempo) è riservato l'asse orizzontale, mentre allo spazio quello verticale, su cui vengono riportate, secondo la loro successione topografica, le località di servizio dell'infrastruttura, con l'indicazione della progressiva chilometrica rispetto all'origine dell'asse o della linea ferroviaria (quando essa sia esterna all'asse stesso) ed altre indicazioni utili a meglio descriverne la struttura ed i servizi, come, ad esempio, la presenza di binario unico o doppio, il numero dei binari esistenti nelle stazioni, l'ubicazione di passaggi a livello, bivi in linea, confluenza di altre linee. È utile, anche se non essenziale, che le distanze tra le stazioni siano riportate in scala[1].

Dall'asse delle distanze e perpendicolarmente ad esso, in corrispondenza del punto in cui sono riportate le località di servizio[2] (stazioni, fermate, bivi), hanno origine altrettante linee orizzontali, mentre dall'asse dei tempi, e sempre perpendicolarmente ad esso, in corrispondenza dei riferimenti temporali in cui l'asse è diviso (ore, decine di minuti, minuti), si diparte un fascio di linee verticali. Nel caso di orario grafico a compilazione manuale, il modulo cartaceo in cui è rappresentato il piano cartesiano ha un asse orizzontale di solito corrispondente ad un periodo di sei ore. L'asse verticale ha invece dimensioni variabili, a seconda della lunghezza

1 Per motivi di opportunità grafica, può accadere che le distanze non siano in scala, ma ciò non impedisce un corretto impiego dell'orario grafico per gli scopi a cui è destinato.

2 Le stazioni sono località di servizio munite di impianti (scambi) atti ad effettuare incroci, precedenze e manovre di treni, operazioni non consentite nelle fermate, località prive di scambi destinate solo alla salita e discesa dei passeggeri; i bivi sono località di servizio esterne alle stazioni che consentono la diramazione di due o più linee, la loro intersezione o il passaggio dal binario unico al doppio binario (art. 2, commi 4, 8 e 9 del *Regolamento Circolazione Treni*, edizione 1962, Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie, decreto n. 12/2009 in vigore dal 13/12/2009). In questo saggio per brevità chiameremo "stazioni" tutti i possibili tipi di località di servizio presenti su un orario grafico.

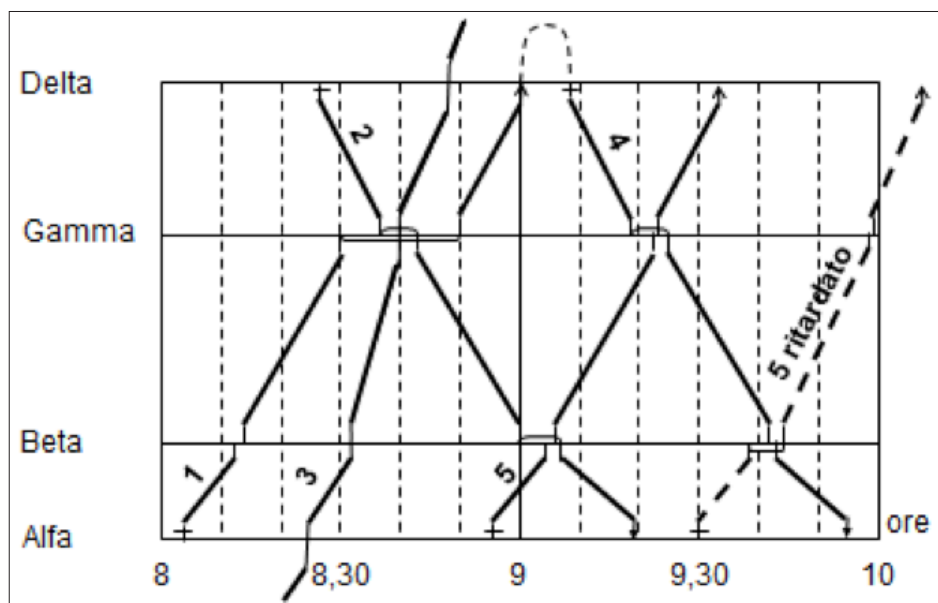



FIGURA 1 – Esempio di circolazione su un tratto di linea a binario unico

della linea da rappresentare in scala, in genere compresa tra poche decine ed un centinaio di chilometri o più. I punti di incrocio tra le linee orizzontali e verticali del piano cartesiano rappresentano quindi una determinata località di servizio in un preciso momento della giornata ed è quindi possibile descriverne lo stato fisico, utile per la comprensione della situazione del traffico e per la sua gestione, aggiungendovi una specifica simbologia.

Sul piano cartesiano si rappresentano le unità di flusso (treni) che, nell'arco temporale considerato, circolano sulla linea ferroviaria. Essi vengono disegnati con linee spezzate, denominate tracce orario, che descrivono in ogni istante la loro posizione sulla linea o nelle stazioni. Le tracce orario corrispondono quindi ad un grafico che descrive la relazione fisica esistente tra spazio (S), velocità (V) e tempo (T) secondo la nota legge cinematica S = V x T, tuttavia con l'adozione di alcuni accorgimenti per facilitare la lettura del cartogramma ed evidenziare il passaggio o la sosta dei treni nelle stazioni[3].

Il cartogramma può riportare le tracce di tutti i treni previsti (orario grafico teorico), oppure viene compilato manualmente da chi dirige la circolazione, tracciando l'andamento reale dei soli treni effettivamente circolanti sulla linea. In questo caso eventuali anticipi o ritardi rispetto all'orario previsto sono riportati con il relativo valore in minuti a lato delle tacche corrispondenti ad arrivo, partenza o transito dalle stazioni. In base al grafico già disegnato fino ad un determinato momento, l'operatore dirige il traffico allo scopo di attenuare, nei tempi successivi, le discrepanze rispetto all'orario teorico e di ripristinare sulla linea condizioni di circolazione il più possibile simili a quelle previste in orario.

A titolo di esempio, nella fig. 1 è riportato uno spezzone di orario grafico su un tratto di linea a binario unico comprendente quattro stazioni (Alfa, Beta, Gamma e Delta), poste a diverse distanze l'una dall'altra. L'arco temporale è limitato a due ore (dalle 8 alle 10) e per semplicità sono state riportate, con linee verticali tratteggiate, solo le divisioni corrispondenti a 10 minuti. Nel cartogramma sono registrate le tracce di 5 treni, con il relativo numero di servizio. Alle ore 8,04 il treno 1 parte dalla stazione di Alfa e, dopo una breve sosta a Beta (ore 8,12-8,14) giunge a Gamma alle 8,30: qui avviene dapprima un incrocio con il treno 2 proveniente da Delta, che arriva alle 8,36 e riparte solo alle 8,42, dopo aver a sua volta incrociato anche il treno 3, in transito alle ore 8,40. Per ultimo riparte il treno 1 alle 8,50, dopo una sosta di complessivi 20 minuti, durante la quale ha subito la precedenza del treno 3, per

3 I passaggi di un treno nelle stazioni sono gli unici momenti in cui la loro posizione è rilevata con esattezza, mentre quella in piena linea è stimata per interpolazione.

arrivare a Delta alle 9,00. Il treno veloce 3 non ferma in alcuna stazione e, provenendo da località precedente Alfa, prosegue oltre Delta, compiendo l'intero percorso in soli 24 minuti. Il treno 2, invece, raggiunge Alfa alle ore 9,19, dopo aver sostato a Beta per 6 minuti circa per incrociare il treno 5. Con modalità analoghe è possibile leggere l'andamento delle tracce orarie dei treni 4 e 5, che si incrociano in Gamma.

A margine di questa lettura del cartogramma ne evidenziamo le più importanti caratteristiche grafiche:

- le tracce dei treni hanno tratto più spesso nel percorso in linea, mentre la sosta nelle stazioni ha di solito un tratto più sottile e leggermente discosto dalla loro riga orizzontale di riferimento per poter rilevare quanti treni sono in sosta e per quanto tempo i rispettivi binari rimangono occupati. Se ne deduce che Gamma ha almeno tre binari di circolazione, perché altrettanti sono i treni contemporaneamente presenti alle ore 8,40;
- l'arrivo, la partenza o il transito dei treni nelle stazioni è evidenziato con un piccolo segmento verticale a tratto fine, che consente di apprezzare con maggiore esattezza l'ora dell'evento;
- la partenza dalla stazione di origine del percorso è contrassegnata da una crocetta, mentre l'arrivo nella stazione di destinazione ha una piccola freccia;
- ogni traccia è distinta dal numero di servizio del treno cui si riferisce.

3. Impiego del cartogramma

Per le sue caratteristiche, il cartogramma permette, oltre alla lettura delle ore di passaggio dei treni dalle stazioni, il rilevamento delle caratteristiche fisiche della circolazione:

- più una traccia è ripida, maggiore è la velocità del treno: si tratta di una velocità media, calcolabile in base alla differenza oraria tra la partenza dalla prima stazione e l'arrivo in quella successiva[4]; i convogli fermi hanno una traccia orizzontale per tutta la durata della sosta.
- Più le tracce sono ravvicinate, più intensa è la circolazione; tuttavia, nel trasporto ferroviario, non è possibile avvicinarle al di sotto di un intervallo di tempo minimo, detto "tempo di distanziamento". Infatti un treno di norma può impegnare un tratto di linea solo se lo stesso risulta libero. La libertà della via è garantita da "sistemi di blocco" di vario tipo: nel cartogramma della fig. 1 è utilizzato, per treni che si susseguono nello stesso senso di marcia, il distanziamento "da stazione a stazione": il treno che segue non può partire da una località se quello che lo ha preceduto non ha raggiunto la stazione successiva, come si desume nel cartogramma dal fatto che il treno 1 parte da Gamma solo quando il treno 3 ha raggiunto la stazione di Delta.
- Noto il sistema di distanziamento, il cartogramma consente di calcolare, in via teorica o di progettazione dell'infrastruttura, la potenzialità di una linea. Nel caso di quello a semplice binario della fig. 1, ad esempio, se i treni si susseguono nella stessa direzione, il tempo minimo di distanziamento da stazione a stazione è pari a quello di percorrenza sul tratto più lungo o più lento da percorrere, nel nostro caso quello tra Beta e Gamma: occorrono circa 16 minuti per percorrerlo, come risulta dalla traccia del treno 1[5]. La potenzialità della linea è quindi pari a 60 min/h : 16 min/treno = 3,75 treni/h (circa 90 treni/giorno). Se invece si considera, più correttamente, la circolazione a sensi alternati, come nel caso dei treni 5 e 4 tra le stazioni di Beta e Gamma, il tempo complessivo di percorrenza dei due treni sullo stesso tratto è di 36 minuti, ovvero circa 18 minuti per tratta-treno, per cui la capacità della linea si riduce a 60 min/h : 18 min/treno = 3,33 treni/h (circa 80 treni/giorno)[6].

4 Se P_a e P_b sono le progressive chilometriche di due stazioni limitrofe, T_a e T_b le ore e minuti di passaggio del treno dalle stesse, la velocità media v_m in km/h è espressa dalla formula: $v_m = 60 |P_a - P_b| / (T_b - T_a)$.

5 Si considerano, in questo calcolo, le percorrenze relative ai treni più lenti. Il treno 1 è un treno viaggiatori che ferma in tutte le località, con un velocità commerciale inferiore a quella del treno 3.

6 Maggiore è ovviamente la capacità di carico delle linee a doppio binario, non solo perché i treni circolano contemporaneamente nei due sensi, ma anche perché il distanziamento minimo, con opportuni sistemi tecnologici, può essere ridotto fino a circa 4 minuti, determinando una capacità effettiva anche superiore a 300 treni/giorno.

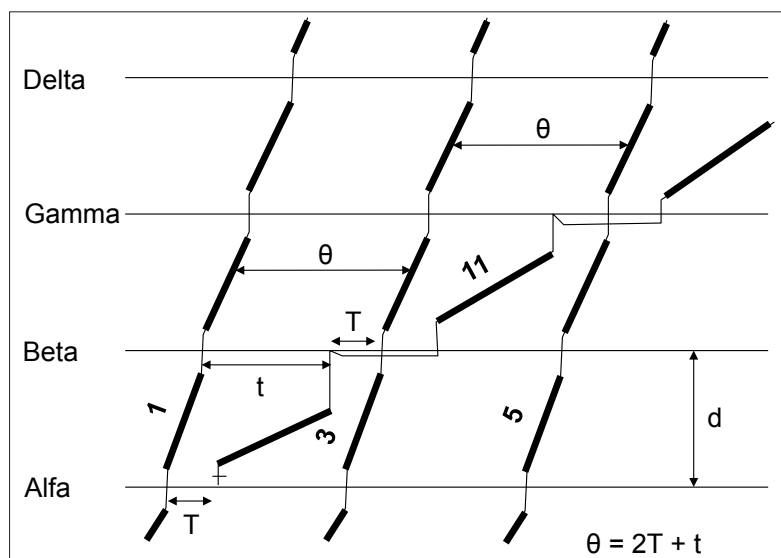



FIGURA 2 – Esempio di circolazione alternata di treni con velocità diverse

Molto spesso in una linea è prevista la circolazione contemporanea di treni eterotachici, ovvero l'alternanza, nello stesso senso di marcia, di treni lenti e veloci, che richiede un numero elevato di stazioni in cui sia possibile effettuare la precedenza di un treno veloce su uno lento, affinché il secondo non causi ritardo al primo, ottimizzando il numero dei convogli circolanti e limitando il più possibile il ritardo subito in sede di precedenza da quelli che vengono superati. Benché il problema non sia di facile soluzione in una linea dalle caratteristiche (distanze tra stazioni, velocità) eterogenee, è possibile, con opportune semplificazioni, valutare quale rapporto sussiste tra le velocità V e v delle due categorie di treni, la distanza d tra le stazioni (supposta, per semplicità di calcolo, costante), i tempi T e t di percorrenza del tratto d rispettivamente da un treno veloce e da uno lento; si supponga che il distanziamento sia da stazione a stazione[7]. Con riferimento alla fig. 2, il tempo minimo θ di distanziamento tra due treni veloci (ad esempio 1 e 3) che si susseguono, intervallati da uno lento (11) è dato dalla somma dei tempi di percorrenza dei tre treni (2T + t), calcolati in una singola sezione di distanziamento di lunghezza d: poiché il tempo impiegato a percorrere la sezione è dato dal rapporto tra la distanza e la velocità, si ottiene:

$$\theta = 2T + t = 2d/V + d/v = (2dv + dV) / Vv = d\,(2v + V) / Vv$$

Da questa formula è possibile determinare, in sede di progettazione di una nuova linea, a quale distanza minima dovranno essere disposte le stazioni quando siano note le velocità di impostazione d'orario di treni lenti e veloci, se si desidera che quelli veloci viaggino con una determinata frequenza (ad esempio, un treno veloce ogni mezz'ora); oppure, note le caratteristiche planimetriche della linea (la distanza tra le stazioni), quale sarà l'intervallo di distanziamento tra due treni veloci.

L'orario grafico è quindi uno strumento sia di pianificazione dell'orario di servizio, sia di controllo della circolazione, di analisi delle criticità e di studio dei provvedimenti da prendere per migliorare la regolarità dell'esercizio. Infatti, in sede di gestione in tempo reale del traffico, l'operatore traccia minuto per minuto il grafico della circolazione e, confrontandolo con quello teorico, inserisce annotazioni relative alle cause dei ritardi, alle interruzioni verificatesi sulla linea o su uno dei binari (programmate o accidentali), ad eventuali so-

7 Si noti che l'intervallo T corrispondente al tempo che intercorre tra l'ora di transito del treno 1 e quella di partenza del treno 11 nella stazione di Alfa (così come quello che intercorre tra l'ora di arrivo del treno 11 e l'ora di transito del treno 3 nella stazione di Beta) è sempre leggermente superiore al tempo impiegato dal treno per percorrere il tratto compreso tra le due stazioni (tempo di percorrenza), in quanto vi si deve sommare il tempo tecnico per l'ottenimento della via libera (a mezzo telefono o dispositivi elettromeccanici) e per il riavvio del convoglio, in genere dell'ordine di qualche decina di secondi. I tempi teorici di percorrenza dovrebbero inoltre essere opportunamente maggiorati per consentire il recupero di eventuali ritardi.

ste di un convoglio per avaria, per altri inconvenienti o per manovre, alla effettuazione di treni straordinari che possono perturbare la normale circolazione. L'esposizione dei ritardi e delle loro cause consente di valutare se i provvedimenti correttivi sono stati efficaci, oppure suggeriscono all'operatore interventi, come, ad esempio, lo spostamento di una sede di incrocio o di precedenza in altra stazione più vantaggiosa quando uno dei due treni è in ritardo, allo scopo di minimizzare la propagazione ad altri treni degli effetti perturbativi. A titolo di esempio, nella fig. 1, per effetto del ritardo del treno 5 (traccia tratteggiata), l'incrocio è stato spostato dalla stazione di Gamma a quella di Beta senza causare ritardo anche al treno 4.

Chi compila l'orario grafico ha così sotto controllo il traffico reale su un'intera linea e può intervenire, direttamente o impartendo ordini agli operatori nelle stazioni, per regolare al meglio la circolazione favorendo alcuni treni e penalizzandone altri. Tale regime di controllo, utilizzato nelle ferrovie italiane dagli anni Trenta del XX secolo, è denominato "Dirigenza Unica" quando un solo operatore (dirigente unico), su linee a scarso traffico, è responsabile della sicurezza e della regolarità della circolazione, "Dirigenza Centrale" quando, su linee a intenso traffico, un supervisore (dirigente centrale) è coadiuvato dal personale delle stazioni, che esegue i suoi ordini, nel rispetto delle norme di sicurezza, al fine di ottimizzare la regolarità del servizio[8].

Il cartogramma trova un'altra importante applicazione pratica già in sede di pianificazione delle risorse necessarie a sostenere i flussi previsti in orario. Sempre in riferimento alla fig. 1, è possibile valutare quanti materiali (convogli) e quante risorse umane (macchinisti, personale di scorta ai treni per viaggiatori) sono necessari per consentire la circolazione dei 5 treni. Ogni convoglio, giunto al termine del percorso, può essere riutilizzato per effettuare un altro treno, in partenza da quella stazione in un tempo successivo. Ciò è ad esempio possibile per il treno 1 che, giunto a Delta, può ripartire 8 minuti dopo in direzione di Alfa come treno 4: si noti il segno grafico (un piccolo arco tratteggiato) che "lega" nella stazione di Delta le tracce dei due treni a significare che si tratta dello stesso materiale. Chi programma l'impiego dei materiali dovrà inoltre valutare se l'intervallo di tempo è sufficiente per le operazioni tecniche richieste dal regolamento ed inoltre se, in conseguenza della criticità delle condizioni di circolazione, vi sia una elevata probabilità che il treno 1 giunga a Delta con un ritardo tale da riflettersi a sua volta sulla partenza del treno 4. Se nella figura il problema è di facile soluzione, su linee o nodi con centinaia di treni al giorno l'orario grafico diventa un supporto indispensabile per evitare disservizi, ad esempio programmando la circolazione di un treno senza avere a disposizione in tempo utile le necessarie risorse.

Supponendo che il servizio giornaliero sia limitato alle due ore rappresentate, il grafico suggerisce inoltre che, mentre al termine del servizio il materiale del treno 1 è ritornato nella stazione di origine, quello dei treni 2, 3 e 5 si trova fuori dalla sede "di residenza" e può rientrarvi solo effettuando altrettante corse di ritorno come materiale vuoto[9]. Se invece tutti i materiali fossero uguali (e quindi interscambiabili), all'inizio come al termine del servizio sono presenti due convogli in Alfa e uno in Delta, ma il materiale del treno 3, proveniente da stazione precedente Alfa e diretto oltre Delta, si troverà fuori residenza e dovrà comunque tornare vuoto alla località d'origine prima dell'inizio di una nuova giornata. Con lo stesso criterio è possibile calcolare il numero minimo di binari che le stazioni capo tronco devono avere disponibili per la sosta dei treni al termine del servizio, nel nostro caso due ad Alfa e uno a Delta.

Un servizio equilibrato ed efficiente deve quindi prevedere la circolazione del minor numero possibile di materiali vuoti e lo strumento cartografico può suggerire lievi aggiustamenti di orario per consentire l'utilizzazione di uno stesso materiale per più treni possibile: per esempio, ritardando la partenza di 5 da Alfa alle ore 9,30 si può utilizzare il materiale del treno 2 che arriva ad Alfa 11 minuti prima, consentendo così il ritorno del convoglio alla propria stazione "di residenza".

8 Le relative norme di circolazione sono contenute nelle pubblicazioni indicate in bibliografia (Ministero dei Trasporti, 1963 e 1983).

9 Nell'orario grafico di servizio sono riportate tutte le circolazioni, comprese le corse del materiale vuoto fuori servizio.

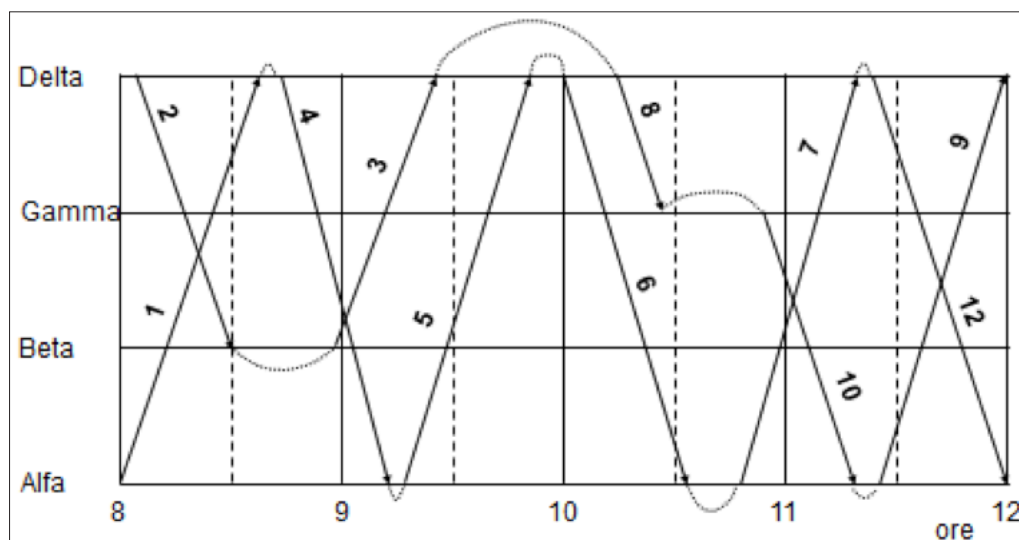



FIGURA 3 – Ottimizzazione del giro dei materiali per l'effettuazione di 11 treni su un tratto di linea tra Alfa e Delta in un periodo di servizio dalle ore 8 alle ore 12

Nella fig. 3 è riportato un altro esempio, leggermente più complesso, di grafico della circolazione, in un tratto di linea comprendente 4 stazioni, nell'arco orario di 4 ore, con 11 treni: i legami tra le relative tracce orarie evidenziano che il servizio è stato organizzato in modo che bastino due soli materiali per realizzare tutte le corse previste in orario.

L'orario grafico è particolarmente utile anche per verificare la compatibilità delle tracce-treno negli orari cadenzati. Si tratta di orari in cui i servizi si susseguono ad intervalli regolari e le tracce dei treni assumono caratteristiche geometriche identiche: ad esempio un servizio cadenzato di 30 minuti può prevedere che i treni partano da una stazione alle ore 8,10, 8,40, 9,10, 9,40, e così via fino al termine del servizio ed arrivino a destinazione parimenti distanziati di 30 primi. Se tutti i treni sono cadenzati, le rispettive interferenze (precedenze, incroci) si susseguono con lo stesso cadenzamento nelle stesse stazioni: se il modello è funzionale in una determinata fascia oraria lo è quindi, in linea teorica, in tutta la giornata e il sistema delle coincidenze con i treni circolanti sulle linee confluenti è sempre identico a se stesso; l'utente, infine, memorizza gli orari con maggiore facilità. Fissata la rete delle tracce dei treni cadenzati, l'orario grafico consente di verificare la compatibilità di treni non cadenzati, ad esempio in occasione dell'effettuazione di un treno straordinario che potrebbe interferire e causare ritardo a quelli già circolanti.

4. Legenda e altra simbologia convenzionale

Come ogni strumento cartografico, anche l'orario grafico adotta una simbologia. Nella fig. 4 è riportato uno stralcio di orario teorico vero, secondo lo stile grafico utilizzato dalle Ferrovie dello Stato italiane, che si riferisce ad un tratto della linea a doppio binario Alessandria-Piacenza[10]. Si notino i due assi del piano cartesiano: quello orario è posto in alto, mentre quello verticale riporta le indicazioni topografiche relative a località di servizio, confluenza di linee, posti di blocco intermedi, distanze progressive e parziali. In calce al foglio è riportato un piccolo quadro sinottico (schematico e non in scala) delle linee afferenti al compartimento ferroviario di Milano che evidenzia la posizione geografica della linea Alessandria-Piacenza (fig. 5) ed una legenda (fig. 6) con tutti i segni convenzionali utilizzati per identificare la natura dei treni (categoria, tipo di servizio, periodicità della circolazione, eventuali fermate, intervalli d'orario nei quali è possibile interrompere i binari per consentire lavori di manutenzione)[11].

10 FERROVIE DELLO STATO, foglio n. 11 dell'orario 31 maggio 1987 – 28 maggio 1988, linea Alessandria-Piacenza e (Pavia) Bressana Bottarone-Stradella, Roma, Tipolito Ferrovie dello Stato Villa Patrizi, 1987.

11 Alcune periodicità a carattere estemporaneo sono indicate, treno per treno, in un apposito prospetto di annotazioni.

FIGURA 4 – Stralcio dell'orario grafico sulla linea Alessandria-Piacenza (1987)

FIGURA 5 – Carta sinottica della rete ferroviaria lombarda che evidenzia la posizione della linea Alessandria-Piacenza

FIGURA 6 – Legenda dell'orario grafico sulla linea Alessandria-Piacenza (1987)

(■) Treni che si effettuano con automotrici termiche (AT).
(□) Treni che si effettuano con automotrici elettriche (ET-ETR).
N.B. Per i treni locali effettuati con mezzi leggeri e la cui numerazione è compresa fra i numeri da 4000 a 8999 i simboli suddetti non sono indicati, ad eccezione di quello (■) che è esposto accanto al numero del treno solo se questo circola su linea esercitata a T.E.

- Treni lusso, T.E.E., rapidi
- Treni espressi e diretti
- Treni locali
- Servizio automobilistico sostitutivo
- Treni postali con servizio viaggiatori
- Treni merci con servizio viaggiatori
- Treni postali e merci celeri
- Treni derrate
- Treni merci
- (*) Treni straordinari

- (▲) Treni incompatibili con altri treni
- (•) Treni che modificano la marcia di treni ordinari
- (—) Treni da sopprimersi in alcuni giorni della settimana
- (Lav.) Treni non festivi
- **(Fest.)** Treni festivi
- (a)-(b)-(c)... Treni periodici, contraddistinti con lettera minuscola sopra il numero del treno
- (F) Fermata periodica
- (xxx) Fermata facoltativa
- (★) Fermata per servizio
- (G) Fermata soppressa in alcuni giorni

- Linee a doppio binario a trazione elettrica
- Linee a semplice binario a trazione elettrica
- Linee a doppio binario a trazione vapore o Diesel
- Linee a semplice binario a trazione vapore o Diesel

Bin. Dispari **Bin. Pari** **Semplice Bin.** Intervalli d'orario e interruzioni programmate

- Intervalli di Stazione
- Disabilitazioni di stazioni, assuntorie e fermate

- Treni ordinari per materiale vuoto viaggiatori
- Treni straordinari per materiale vuoto viaggiatori
- Treni straordinari merci
- Treni straordinari derrate
- Treni straordinari merci non classificati
- Treni straordinari viaggiatori
- Treni straordinari viaggiatori deviati
- Treni straordinari merci celeri

(x) — Treni di altre linee periodici o soppressi in taluni giorni della settimana

FIGURA 7 – Tra Alfa e Gamma la linea ferroviaria è a doppio binario. È in atto un'interruzione del binario dispari tra Alfa e Beta, tratto su cui il treno 1 viaggia sul binario di destra (pari). Lo stesso treno sosta in linea per avaria tra Beta e Gamma

La simbologia utilizzata è quindi particolarmente ricca e trasferisce sul cartogramma l'intero contenuto informativo dei fascicoli orari, pubblicazioni di servizio in formato libro. Un singolo foglio di orario grafico contiene quindi le informazioni di decine o centinaia di pagine di un orario tradizionale, con l'evidente vantaggio di agevolare l'operatore nell'individuazione dei treni e delle loro interazioni con la circolazione generale dell'intera linea.

Tuttavia, nel grafico reale, tracciato giornalmente dall'operatore, non è necessario riportare sul cartogramma tutte le suddette informazioni quando le caratteristiche dei treni non differiscano da quelle programmate e il cartogramma risulterà quindi più semplificato e più facilmente leggibile. I principali accorgimenti grafici utilizzati sono i seguenti[12]:

- in colore nero sono disegnate le tracce dei treni viaggiatori, blu quelle dei treni merci, rosso quelle dei mezzi di trazione che viaggiano isolati;
- una croce posta sui segmenti delle tracce individua i tratti in cui il treno viaggia sul binario di destra[13];
- i treni ordinari sono riportati con tratto continuo, quelli straordinari sono invece tratteggiati;
- gli intervalli temporali in cui uno o entrambi i binari sono interrotti, accidentalmente o per lavori programmati, sono indicati, per il tratto corrispondente, con un rettangolo (con campitura obliqua di colore rosso), i cui lati verticali indicano le ore di inizio e di fine dell'interruzione, mentre i lati orizzontali corrispondono alle stazioni che delimitano il tratto interrotto;
- le fermate in linea di un treno (ad esempio per avaria) sono segnate con un tratto orizzontale della traccia approssimativamente nel punto in cui si è verificata la fermata (fig. 7).

Nelle annotazioni, a margine del grafico, l'operatore riporta le cause di eventuali ritardi, contrassegnati a grafico con apposito richiamo, nonché il numero dei treni straordinari in circolazione ed il motivo della loro effettuazione.

5. Evoluzione recente del modello cartografico: il *train graph*

Nei paesi sviluppati, a partire dagli anni Sessanta e Settanta il trasporto ferroviario è stato automatizzato nei sistemi di controllo e di sicurezza: numerose piccole stazioni sono state soppresse o rese impresenziate, eliminando progressivamente la figura del dirigente locale di circolazione, sostituito da dirigenti centrali che operano da una postazione di controllo in regime di tele-

12 Si tratta delle convenzioni grafiche utilizzate dal personale dirigente il movimento presso le Ferrovie dello Stato italiane.

13 Sulle linee a doppio binario i treni viaggiano di norma sul binario di sinistra: la circolazione su quello di destra è prevista in condizioni particolari, ad esempio quando il binario di marcia normale è interrotto.

comando sui dispositivi (scambi e segnali) di impianti ubicati a chilometri di distanza. In molte linee ad intenso traffico un unico operatore, coadiuvato da sistemi computerizzati, ha sostituito decine di operatori locali ed è responsabile anche della regolarità della circolazione, funzione sempre supportata dalla presenza di un grafico compilato in tempo reale.

Uno dei nuovi dispositivi automatici in dotazione ai posti di controllo centralizzati della circolazione è il *train graph*, un sistema informatizzato che rileva automaticamente le ore di passaggio dei treni dalle stazioni e, avendone nel *database* tutte le impostazioni d'orario (stazione di origine e di destinazione, fermate, precedenze e incroci), ne disegna su uno schermo a colori le tracce della marcia effettiva, calcolandone i ritardi, e ne imposta anche le tracce previsionali nelle ore successive, tenendo presenti il ritardo accumulato e le possibilità di recuperare o di subire ulteriore ritardo previste sulla base delle caratteristiche del treno e del binario (riduzioni di velocità, rallentamenti in linea), indicando in anticipo i punti di eventuale conflitto tra le tracce dei treni. L'operatore potrà così intervenire per tempo stabilendo nuove sedi di incrocio o di precedenza, allo scopo di ridurre per quanto possibile il concatenamento dei ritardi agli altri treni circolanti.

Il *train graph* è quindi un dispositivo cartografico "intelligente" che consente all'operatore di concentrare la propria attenzione sul controllo della circolazione e gli suggerisce possibili soluzioni alternative per la risoluzione dei conflitti, mettendole a confronto e determinando in anticipo le conseguenze delle scelte sul futuro assetto della circolazione, operazione un tempo svolta mentalmente sulla base dell'esperienza individuale, con i conseguenti rischi di errate valutazioni.

6. Cenni storici e bibliografici

Benché l'orario grafico fin dal XIX secolo abbia trovato proficuo impiego nella programmazione e nella gestione dei flussi di trasporto, in particolare di quello ferroviario, raramente esso è stato considerato uno strumento per l'analisi dei flussi e dei rapporti con il territorio in ambito geoeconomico, rimanendo confinato a quello dell'ingegneria dei trasporti. Di conseguenza, il geografo non conosce lo strumento, o ne è venuto in contatto senza tuttavia possedere le competenze tecniche necessarie a valutare, per le proprie finalità di analisi territoriale, le potenzialità di una direttrice di flusso, dovendo, all'evenienza, ricorrere a dati già calcolati da specialisti come gli ingegneri trasportisti. Scarsa è la letteratura geografica che in passato ha riconosciuto nell'orario grafico un particolare tipo di strumento cartografico e le sue potenzialità in sede di valutazione di un'infrastruttura come fattore di sviluppo territoriale: a titolo di esempio si segnala il manuale di geografia economica del Paterson, nell'edizione italiana del 1976 che lo menziona nel capitolo dei trasporti. In Italia solo nel 1996 è stato per la prima volta trattato come strumento di analisi, nel corso del XXVII Congresso Geografico italiano (Lucarno, 1996).

Più numerosi sono invece gli studi di settore ferroviario che vedono l'orario grafico soggetto di studio teorico o anche più semplicemente strumento indispensabile per il calcolo della potenzialità di un impianto o di una infrastruttura; si citano, a titolo di esempio, i lavori di Kontaxi e Ricci (2009), Martini, Follesa, Campisano (2004) e Reitani, Malaspina (1980), tutti pubblicati su riviste di settore, come Ingegneria Ferroviaria.

7. Un innovativo caso di impiego del cartogramma nel trasporto su idrovie

Grazie alla sua fitta rete idrografica ed alla favorevole morfologia del bacino medio padano, la Lombardia è stata fin dal medioevo terra di trasporti idroviari: Milano era collegata ai fiumi più vicini con canali artificiali che consentirono per secoli l'approvvigionamento fluviale di grandi quantità di merci, tra cui pietre da costruzione provenienti dalle cave prealpine. Dopo l'avvento delle ferrovie, il sistema idroviario iniziò un lento declino e fu completamente abbandonato nel secondo dopoguerra.

Nel 2004 la Regione Lombardia commissionò al Laboratorio di Economia Locale (Facoltà di Economia) dell'Università Cattolica di Piacenza uno studio per valutare l'ipotesi di ripristino e potenziamento delle idrovie lombarde a fini turistici. Il progetto si interessò in particolare del recupero idroviario dei fiumi Ticino (con il Naviglio Grande in collegamento con la Darsena di Milano) e Mincio che, benché un tempo fossero navigabili, negli ultimi decenni hanno subito un progressivo depauperamento di portata in seguito a prelievi per usi idroelettrici ed agricoli. Esso prevedeva il superamento dei salti di livello dei corsi d'acqua con sistemi di conche, il ripristino di vecchi approdi e la costruzione di nuovi con caratteristiche atte all'attracco di motobarche per il trasporto turistico della capacità di circa 50 persone (Dallara, Lucarno, 2004).

Poiché le conche, per la cui manovra è previsto un tempo massimo di circa 20 minuti, rappresentano un "collo di bottiglia" nel modello di esercizio di un'idrovia che limita la capacità di traffico, a margine degli aspetti più prettamente idraulici ed ingegneristici dello studio di fattibilità è stato necessario valutare anche la futura potenzialità massima teorica delle infrastrutture, ipotizzando un servizio misto di navigazione collettivo ed individuale con piccole barche da diporto, e verificare se esso sia compatibile con la capacità ricettiva del sistema turistico locale. Per tale valutazione si è fatto ricorso ad un orario cadenzato che prevedesse un impegno programmato delle conche, coerente con tracce orario cui avrebbero dovuto conformarsi tutti i natanti ammessi alla circolazione[14].

La progettazione di un orario di servizio applicata per la prima volta, almeno in Italia, ad una idrovia, ha presentato analogie, ma anche forti differenze rispetto ad una linea ferroviaria a semplice binario. Nella seconda, il tratto di linea rappresenta un ambito di criticità (può circolare solo un treno alla volta), mentre le stazioni sono le sedi in cui treni in direzione opposta possono incrociarsi. In una idrovia i punti di criticità sono le conche, in cui può entrate un natante alla volta, mentre i tratti di fiume aperto non pongono limitazioni alla circolazione, consentendo, di norma, il libero incrocio delle imbarcazioni. Inoltre, mentre su un binario è indifferente l'inoltro di un treno nell'una o nell'altra direzione, nelle conche, dopo l'uscita di una barca in una direzione, in mancanza di una seconda che vi entri per proseguire in quella opposta si deve comunque compiere la manovra di riempimento/svuotamento del bacino, anche a vuoto: in sostanza, dopo una traccia in discesa, il tempo occorrente per una traccia in salita, in mancanza di barche, non può essere sfruttato per un'altra traccia in discesa e viene perduto. Il modello cadenzato proposto prevedeva quindi una rigida alternanza di tracce in salita e in discesa, con un distanziamento rigorosamente calcolato in base ai tempi necessari per concludere un ciclo completo di manovre delle paratie della conca.

L'originalità del modello orario proposto è evidenziata nella fig. 8, che ripropone l'orario grafico di servizio sull'idrovia del Mincio. La parte più prettamente cartografica del progetto ha dovuto tenere conto della distanza reciproca, non costante, di conche ed approdi, dei tempi necessari per consentire il superamento delle prime e lo sbarco/imbarco nei secondi, delle velocità massime ammesse dei diversi tratti dell'idrovia, in funzione di vincoli naturalistici conseguenti all'attraversamento di aree protette. Tuttavia, anche se le caratteristiche fisiche dell'infrastruttura non sono omogenee, l'orario grafico ha consentito di programmare un regime di circolazione cadenzato con le seguenti caratteristiche:

- nessun natante deve sostare all'esterno delle conche per attendere che queste si liberino dopo aver ultimato la manovra del natante precedente;
- tutte le conche lavorano a pieno regime, non essendovi tempi di attesa tra un natante e quello successivo;
- le tracce in salita e in discesa sono alternate, per evitare manovre a vuoto di inversione della direzione di flusso delle conche.

Abbiamo così uno sfruttamento ottimale dell'infrastruttura, che risulta satura di tracce. Il cartogramma può quindi supportare un sistema centralizzato di navigazione sull'idrovia, regolato da un gestore dell'infrastruttura e degli impianti (conche e approdi) che assegna le tracce agli utilizzatori richiedenti.

14 Il modello ha previsto circa 70 tracce orario in una fascia di esercizio giornaliero compresa tra le ore 8 e le 20. Questo dato consente di calcolare il numero massimo di passeggeri trasportabili e di stimare, sulla base di indicatori turistici, quanti di essi genererebbero una domanda di ospitalità, da confrontare con l'effettiva capacità ricettiva del territorio rivierasco (Lucarno, 2007).

FIGURA 8 – Schema orario grafico idrovia del Mincio

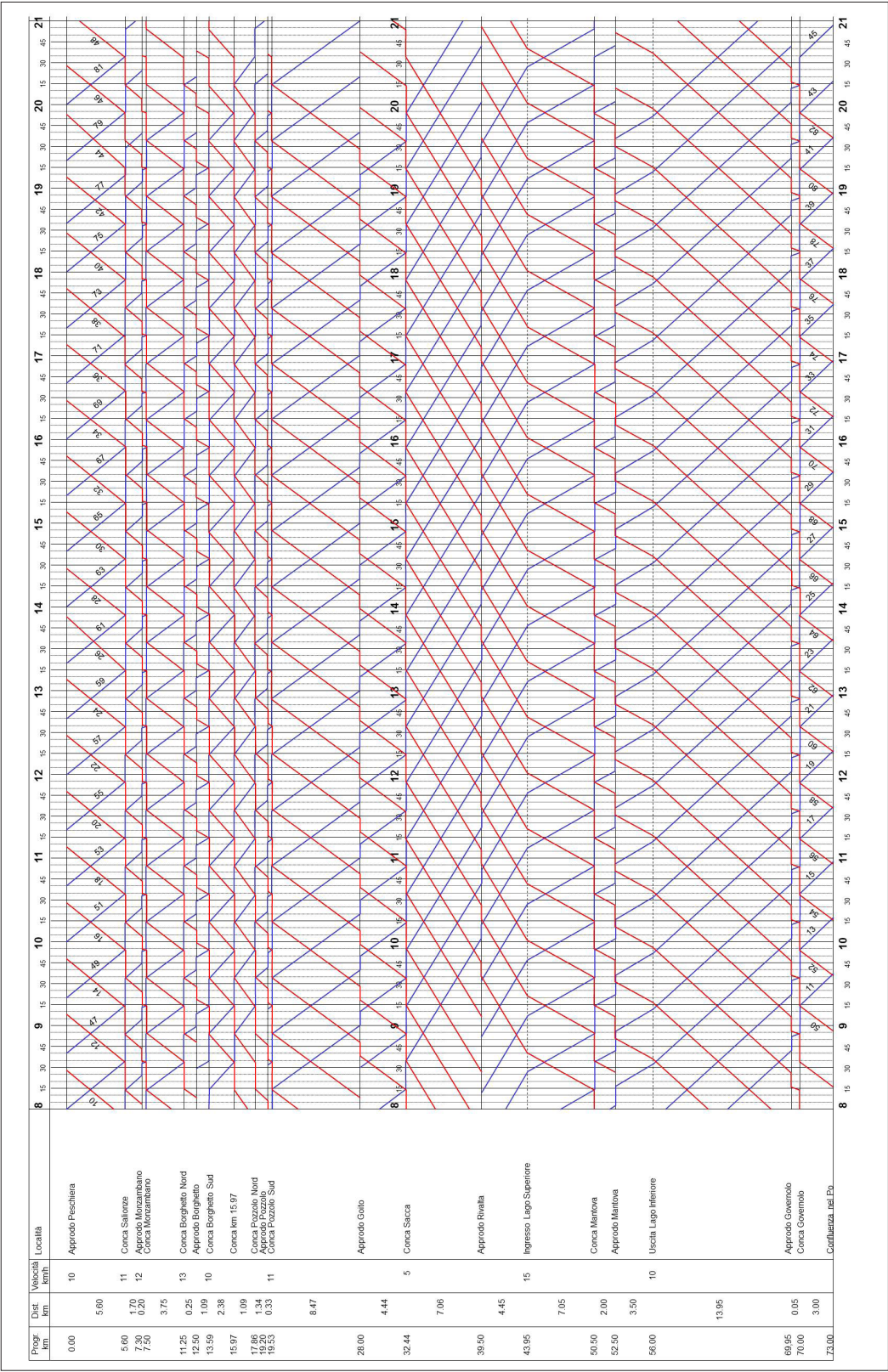
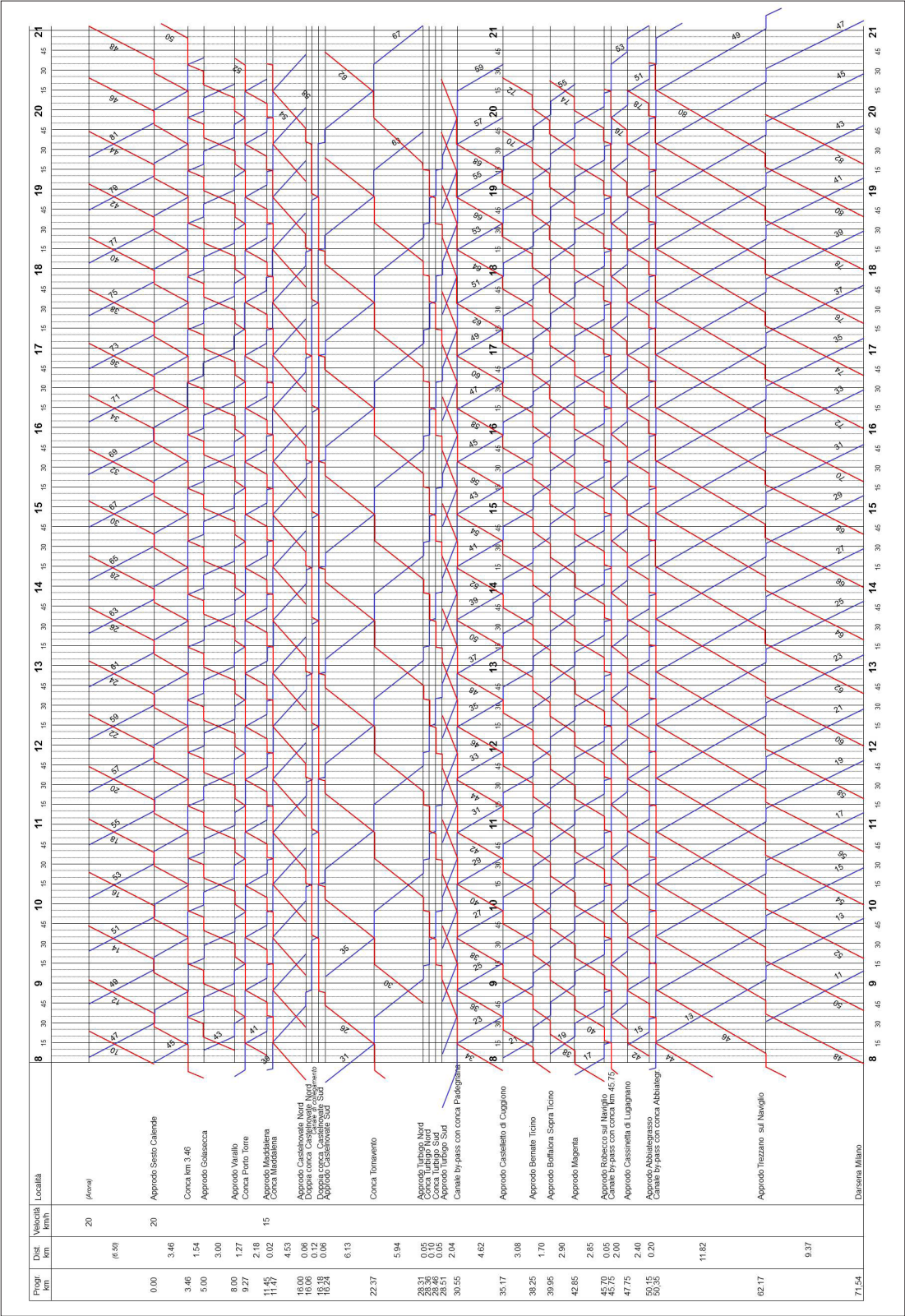



FIGURA 9 – Schema orario grafico idrovia del Ticino-Naviglio Grande

L'idrovia del Ticino-Naviglio Grande presenta alcune complicazioni dovute all'esistenza di due doppie conche separate da un breve canale di collegamento e ad un eccessivo concentramento di conche (6 nel solo tratto centrale) che determinano un infittimento delle tracce e file d'attesa. Anche in questo caso l'orario grafico è stato determinante nel suggerire una razionale organizzazione del servizio che prevede, per il tratto critico centrale, un dimezzamento del traffico (meno di 2 tracce ogni 60'), con la soppressione di una traccia su due tra quelle provenienti dai tratti esterni dell'idrovia (fig. 9).

Al di là dei risultati specifici ottenuti nei due casi di studio in termini di determinazione della potenzialità massima delle infrastrutture in progetto, è importante rimarcare che il procedimento con cui si perviene al modello di esercizio parte sempre dalla configurazione del cartogramma per giungere alla compilazione degli orari e non viceversa, in quanto i vincoli fisici dell'infrastruttura sono ineliminabili e l'orario vi si deve adattare. In questo modo, infatti, le tracce evidenziano in maniera immediata le incompatibilità e suggeriscono gli interventi correttivi ottimali, mentre la determinazione a tavolino degli orari difficilmente corrisponde ad un modello di esercizio compatibile e ottimale, che non lasci intervalli spazio-temporali inutilizzati a fronte di periodi di congestione e di conflittualità, e deve sempre essere rettificato ricorrendo al cartogramma.

8. Conclusioni

Lo strumento qui descritto, che possiede tutte le caratteristiche proprie di una rappresentazione cartografica spazio-temporale, benché indispensabile in sede di organizzazione dei servizi di trasporto, ha ricevuto finora scarsa attenzione da parte della letteratura geografica, venendo al più considerato come una curiosità iconografica a corredo delle analisi territoriali. Il geografo ha sempre preferito far proprie le informazioni che il tecnico trasportista ricava dal cartogramma senza porsi il problema di saperlo costruire e utilizzare autonomamente, perdendo così le prerogative di autonomia di giudizio sui fenomeni oggetto del proprio studio.

I principi realizzativi di un orario grafico hanno problematiche peculiari ed altrettanti percorsi solutivi quando vengono applicati a infrastrutture di natura diversa, come è emerso nell'impiego per la determinazione della capacità massima di carico di una linea ferroviaria o di un'idrovia. Tuttavia, nella sua generalità il metodo è teoricamente applicabile a qualsiasi modalità di trasporto, per cui se ne potrebbe in futuro ipotizzare l'utilizzazione anche in campi di impiego diversi da quelli tradizionali, come la gestione dei flussi di informazione, oppure l'organizzazione delle correnti di materie prime o semilavorati e del *layout* degli impianti all'interno di un'area in cui avviene l'assemblaggio di prodotti finiti.

Tuttavia, come classico supporto di analisi, l'orario grafico trova sempre nella geografia dei trasporti il campo di impiego più proficuo, dove il geografo potrebbe efficacemente affiancarsi all'ingegnere trasportistico per apportare il proprio contributo anche in termini di visione territoriale di insieme del problema.

Bibliografia

A. DALLARA, G. LUCARNO, *La regione fluviale del Mincio*, Piacenza, Università Cattolica, Laboratorio di Economia Locale, Quaderno n. 77, novembre 2004.

A. DALLARA, G. LUCARNO, *La regione fluviale del Ticino*, Piacenza, Università Cattolica, Laboratorio di Economia Locale, Quaderno n. 78, novembre 2004.

A. DALLARA, G. LUCARNO, *Le regioni fluviali a vocazione turistica*, Piacenza, Università Cattolica, Laboratorio di Economia Locale, Quaderno n. 79, novembre 2004.

E. KONTAXI, S. RICCI, *Tecniche e metodologie per la determinazione della capacità ferroviaria: analisi comparata e prospettive di integrazione*, in "Ingegneria Ferroviaria", Roma, CIFI, dicembre 2009, pp. 1051-1080.

G. LUCARNO, *Un modello di cartogramma spazio-temporale: impiego attuale e prospettive di utilizzazione nella geografia dei trasporti*, in "Atti del XXVII Congresso Geografico Italiano", Trieste, 21-25 maggio 1996, pp. 103-113.

G. LUCARNO, *Un modello per la determinazione della capacità di carico di una regione turistica fluviale*, in F. ADAMO (a cura di), "Competitività e sostenibilità. Tipi di turismo, strategie di impresa e politiche del territorio", Bologna, Pàtron, 2007, pp. 333-350.

F. MARTINI, F. FOLLESA, G.A. CAMPISANO, *Sviluppo di un orario cadenzato coordinato per la Toscana: Memorario*, in "Ingegneria Ferroviaria", Roma, CIFI, ottobre 2004, pp. 851-864.

MINISTERO DEI TRASPORTI – AZIENDA AUTONOMA FERROVIE DELLO STATO, *Disposizioni per il servizio con Dirigente Centrale*, edizione 1931, Roma, 1963.

MINISTERO DEI TRASPORTI – AZIENDA AUTONOMA FERROVIE DELLO STATO, *Disposizioni per il servizio con Dirigente Unico*, edizione 1946, Roma, 1983.

D. PATERSON, *Manuale di Geografia Economica*, Milano, Franco Angeli, 1976.

G. REITANI, R. MALASPINA, *Un criterio di calcolo della potenzialità di circolazione ferroviaria su linee a doppio binario*, in "Ingegneria Ferroviaria", Roma, CIFI, febbraio 1980.

Oltre le metropoli: il supporto della cartografia per una nuova regionalizzazione. Il caso dell'area tra Roma e Napoli

Beyond the metropolis: the cartography to define new regions. The area between Rome and Naples

MARIA RONZA*

Riassunto

La disponibilità in rete di banche dati istituzionali, cartografia libera e software geografici open source fornisce un valido supporto alla cartografia per la validazione di ipotesi geografiche inerenti al riordino della maglia amministrativa italiana. Le ragioni di carattere storico-culturale necessitano, infatti, di essere verificate attraverso un'analisi degli attuali assetti territoriali, nonché delle relazioni socio-economiche che contraddistinguono sistemi locali e centri di riferimento. Il presente contributo prende in esame un'area complessa, quella interposta tra le metropoli di Roma e Napoli, per dimostrare come l'integrazione di fonti eterogenee (cartografiche, statistiche, ecc.) disponibili on-line possa promuovere un ripensamento dell'attuale ripartizione amministrativa ai fini della competitività e della coesione territoriale. Attraverso l'analisi GIS della variazione demografica per il periodo 1971-2011 emerge il rilevante ruolo del sistema infrastrutturale (strade e ferrovie) nel decretare l'incremento o il decremento delle realtà urbane minori comprese tra le due metropoli. Ad avvalorare tale ipotesi subentrano anche le analisi condotte dall'ISTAT relative ai centri dotati di attrattività e identificati come punti di riferimento dei Sistemi Locali del Lavoro. Queste prime analisi in ambiente GIS fanno emergere una peculiare fisionomia dell'area, basata sul ruolo di collegamento tra le due città metropolitane. Il confronto tra le cartografie risultanti permette, pertanto, di ipotizzare una nuova entità territoriale da tenere in considerazione nell'attuale dibattito sul riordino amministrativo.

Parole chiave

Cartografia, regionalizzazione, trasporti, demografia, sistemi locali del lavoro, aree metropolitane, centri minori

Abstract

A new support to administrative reorganization at national scale, recently supposed in Italy, is provide to cartography from the new web 'tools' like institutional database of the national statistical agency (ISTAT) or free cartography of OpenStreetMap project. The existing organizational set-up have to be verified in several ways: analysis of historical and cultural reasons, but also social and economic relationships have to be considered in order to better understand the hierarchical territorial configuration between the main cities and smaller towns. In this paper we studied the region between Rome and Naples: urbanization, demographic changes, rural transformations involved and deeply changed this area in the last decades. The relationships analysis between infrastructure system and demographic changes in the 1971-2011 period put in evidence the relevant role of main roads and railways in the growth or decay of the smaller towns placed between the two metropolitan areas. In fact, using a buffer areas analysis in a GIS environment, we have identified almost municipalities in population growth. By ISTAT studies, these towns play a new relevant role also as point of reference into local labour systems. So, the cartography considering these recent changes seems to suggest a new organization for the existing administrations in this area.

Keywords

Cartography, regionalization, transport, demography, work reference centers, metropolitan areas, small towns

* Dipartimento di Scienze Politiche – Università degli Studi di Napoli "Federico II"

1. Analisi cartografiche per una nuova regionalizzazione

I criteri di regionalizzazione costituiscono da sempre un argomento di specifico interesse geografico. La ricerca dell'omogeneità territoriale – auspicata di volta in volta con l'adozione di parametri naturali, culturali, funzionali – sottende un'esigenza che va ben oltre la ripartizione di ambiti unitari sotto il profilo politico in ritagli dotati di un'intrinseca coerenza (Vallega, 1995).

Quando tali ritagli, da ipotesi tracciate sulle carte, si trasformano in entità amministrative con ampie competenze nell'organizzazione territoriale[1], allora si comprende come il rapporto tra "le regioni della geografia" e quelle della macchina amministrativa necessiti di essere stretto, nonché sottoposto a verifiche e aggiornamenti. Infatti, quanto più la ripartizione territoriale si distacca dalle dinamiche demografico-insediative e socio-economiche in atto, tanto più si riducono i fattori di competitività ed aumentano quelli di degrado e di marginalità (Ferlaino e Molinari, 2009). Per tali ragioni, le analisi di carattere storico-culturale, basate sull'individuazione delle persistenze identitarie nel paesaggio, non possono ritenersi esaustive per definire nuove proposte di regionalizzazione[2]. Tale approccio rivela marcati punti di debolezza, qualora l'oggetto d'indagine sia costituito da aree complesse, ovvero aree in cui la spinta alla trasformazione territoriale è forte per la coesistenza di diversi gruppi umani (popolazione locale e immigrati), l'incremento dell'accessibilità, il mutare dei rapporti tra i centri, la formazione di reti interconnesse, il deterioramento delle componenti ambientali.

Attualmente, però, studi cartografici in grado di monitorare i cambiamenti in atto possono essere speditamente realizzati utilizzando fonti di dati disponibili in rete. Analisi cartografiche, elaborate in ambiente GIS (*Geographical Information System*) integrando dati eterogenei (statistici, cartografici, etc.) provenienti da fonti istituzionali e/o private, possono scardinare l'immagine alla base dell'odierna ripartizione amministrativa e costituire la piattaforma per innovative proposte di riordino.

È in questo contesto che s'inserisce il presente contributo; l'analisi riguarda un'area particolarmente problematica, quella compresa tra le metropoli di Roma e Napoli. Da gennaio 2015, in base alla legge n. 56/2014, nelle Regioni a statuto ordinario dieci province (tra cui Roma e Napoli) lasceranno il posto ad altrettante aree metropolitane. Nel contempo, la stessa legge prevede un processo di graduale trasformazione delle altre province in "enti di secondo livello", garantendo una maggiore capacità di determinazione da parte dei comuni. Con l'effettiva istituzione delle aree metropolitane – previste già dalla Legge n.142 del 1990 e analizzate nelle loro implicazioni geografiche (Bartaletti, 2009) – il territorio intermedio tra Roma e Napoli consoliderà ulteriormente la funzione di area di collegamento tra le due metropoli. Pur ripartita tra due regioni, l'area tra Caserta, Latina e Frosinone si presenta, infatti, come un insieme sempre più coeso per la funzione di collegamento tra i due pilastri della rete urbana centro-meridionale.

L'obiettivo del presente lavoro è comprendere se, e in quale misura, il rafforzarsi dei collegamenti tra i poli metropolitani di Roma e Napoli abbia contribuito ad una progressiva ma profonda modifica dell'organizzazione territoriale nell'area oggetto di studio, anche in considerazione dell'attuale dibattito sulla riorganizzazione amministrativa a scala nazionale. Dopo una breve descrizione geografica e una sintetica disamina dei criteri di regionalizzazione, sono state elaborate alcune cartografie relative a demografia, trasporti e attrattività dei centri urbani. Per cercare di evidenziare eventuali correlazioni tra variazioni demografiche e livelli di accessibilità, alla cartografia tematica relativa al tasso di incremento/decremento della popolazione nel periodo 1971-2011 si sono sovrapposte quelle delle aree di influenza delle infrastrutture viarie e ferroviarie. Dal processo grafico di *overlay* sono state individuate alcune ipotesi di trasformazione territoriale, successivamente poste a confronto con la cartografia relativa ai Sistemi Locali del Lavori, ossia alle aggregazioni di comuni de-

1 Delineare prospettive per la competitività e la riduzione del degrado, gestire problematiche infrastrutturali, razionalizzare le modalità d'uso del suolo e l'espansione urbana, rispondere alle esigenze delle comunità locali sono solo alcune delle materie di cui si occupano le Regioni.

2 Diverso è il caso della pianificazione in cui le "invarianti strutturali", ovvero i beni culturali ed ambientali di un territorio, costituiscono una piattaforma comune ed imprescindibile nelle scelte di piano (Gambino, 2009).

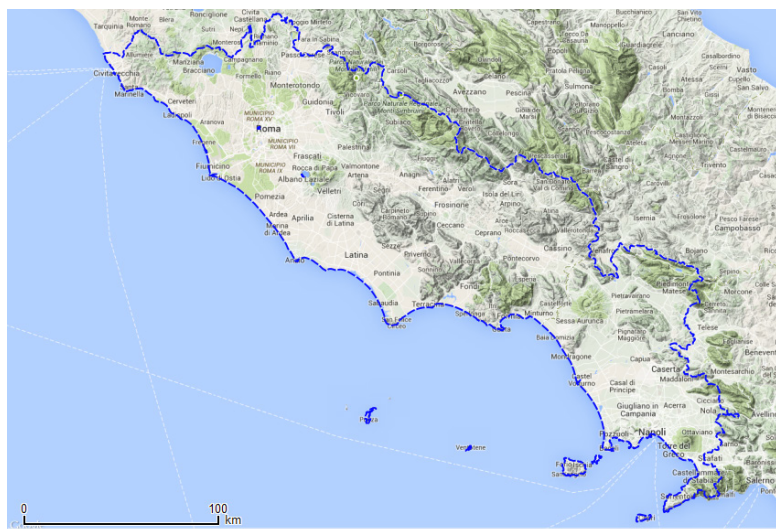



FIGURA 1 – Delimitazione dell'area di studio: il territorio delle province di Roma, Frosinone, Latina, Caserta e Napoli

FONTE: elaborazione dell'autore su cartografia Google Physical

finite dall'ISTAT a partire dai dati relativi al pendolarismo per motivi di lavoro[3].

2. Tra Roma e Napoli: un nodo problematico nella regionalizzazione italiana

L'area di studio comprende il territorio esteso tra la Campagna romana e la Piana napoletana, coincidente con le province di Roma, Frosinone e Latina nel Lazio e di Napoli e Caserta in Campania. È un contesto caratterizzato dalla presenza di aree pianeggianti di origine vulcanico-alluvionale (Agro Pontino, Piana del Garigliano, Piana del Volturno) che si susseguono e si affacciano sul litorale, mentre verso est sono delimitate da rilievi preappenninici (M.ti Lepini, M.ti Aurunci, M.ti Ausoni, ecc.), nonché dai complessi vulcanici dei Colli Albani e del Roccamonfina. Tali rilievi, inoltre, separano le piane costiere dalle valli interne del fiume Sacco e del fiume Liri[4] che preludono all'Appennino campano-laziale e mettono in comunicazione la Piana campana con Roma.

3 "I Sistemi Locali del Lavoro (SLL) rappresentano un griglia territoriale i cui confini, indipendentemente dall'articolazione amministrativa del territorio, sono definiti utilizzando i flussi degli spostamenti giornalieri casa/lavoro (pendolarismo) rilevati in occasione dei Censimenti generali della popolazione e delle abitazioni" (www.istat.it).

4 Quest'ultimo è affluente del Garigliano e forma con esso la Piana del Liri-Garigliano.

Per considerare la ripartizione attuale dell'area tra Roma e Napoli, non si può prescindere dalle ipotesi di regionalizzazione più significative in ambito geografico. Queste, adottando parametri diversi in relazione alle finalità e ai paradigmi dominanti, ci restituiscono proposte eterogenee per la ripartizione dell'intera Penisola e, di rimando, anche dell'Italia centro-meridionale. Attingendo a materiale bibliografico e cartografico di varia natura e provenienza, è possibile ricostruire in una prospettiva storico-geografica, ma a tratti anche giuridico-legislativa, una vicenda di per sé frammentaria e complessa (Castelnovi, 2012).

L'adozione di parametri orografici e idrografici fornisce una visione sorprendentemente unitaria del territorio in esame. Se analizziamo la ripartizione di Carlo Frulli (1845) e quella adottata dalle Autorità di Bacino (Legge n.183/1989), nonostante l'evidente diversità della matrice culturale e delle finalità, si riscontra infatti che la valle del Sacco e del Liri, la piana del Garigliano e quella del Volturno costituiscono entità fortemente interconnesse, un vero e proprio corridoio naturale tra l'area a ridosso di Roma e quella in prossimità di Napoli. Risentendo del Determinismo di metà Ottocento, il Frulli sottolinea l'unità fisiografica della regione, definendola "del Vesuvio" per sottolineare l'*imprinting* territoriale legato alla componente vulcanica nel Basso Lazio e nella Campania settentrionale (Colli Albani, Roccamonfina, Campi Flegrei, Vesuvio). Alla regione dell'Ambientalismo geografico mostra notevoli affinità

il "Bacino nazionale Volturno Liri-Garigliano", individuato nel 1989 per l'istituzione delle Autorità di Bacino, con il concreto obiettivo di mitigare e prevenire il rischio idrogeologico (Mautone e Guarente, 1995).

Al contrario, se i parametri di regionalizzazione assumono connotazioni storico-culturali (Gambi, 1998), allora si rinviene che centri come Cassino, Sora, Fondi, Gaeta – oggi inseriti nella regione laziale – erano pienamente integrati nel contesto socio-economico del territorio campano. Legami identitari ancor più stretti con l'area partenopea si riscontrano nelle Isole Pontine per la provenienza della popolazione dall'ambito vesuviano, nonché per i rapporti commerciali con le altre isole del golfo di Napoli, in particolare con le vulcaniche Ischia e Procida. Fino all'annessione dello Stato Pontificio, il confine tra il Regno Borbonico prima e il Regno d'Italia poi era fissato più a nord sia sul litorale sia nell'entroterra. La ripartizione di Cesare Correnti (1855), a differenza di quella del Frulli, terrà conto di tali matrici identitarie e, pertanto, manterrà più a nord il confine tra le regioni "Valle del Tevere" e "Terra di Lavoro e Principati". Non è un caso se l'unità storico-culturale dell'area venga affermata con la costituzione della provincia di "Terra di Lavoro", la più vasta del nuovo Regno d'Italia, comprendente un territorio esteso tra le attuali province di Latina, Frosinone, Caserta e Napoli (Landini, 2013). Un'attività agricola fiorente e l'allevamento bufalino costituivano i pilastri dell'identità locale e di un genere di vita essenzialmente rurale.

Tali criteri naturali e culturali, seppur basilari per comprendere le connotazioni del territorio in esame, si rivelano insufficienti a spiegare la complessità dei rapporti tra poli urbani e aree contermini nel periodo dell'urbanizzazione convulsa che – a partire dagli anni Cinquanta fino agli anni Ottanta – ha caratterizzato le dinamiche insediative del nostro Paese (Scaramellini, 2004).

Nelle principali regioni del Centro-Sud (in particolare Lazio e Campania), già contraddistinte da una rete urbana a maglie larghe, tale processo accentua la tendenza al monocentrismo: le città capoluogo si trasformano in aree metropolitane di grande peso funzionale e demografico, rendendo ardua una gestione ottimale delle risorse. Nella letteratura geografica, il territorio laziale e quello campano costituiscono le sfere d'influenza o le aree di gravitazione dei due poli urbani di Roma e Napoli, considerati veri e propri "magneti" su cui gravitano le città medie e i centri contermini (Celant *et al.,*1992). Il modello della regione funzionalista trova, nei casi analizzati, un'applicazione chiara non solo per l'innegabile rilevanza dei due capoluoghi dal punto di vista storico, culturale, economico e amministrativo, ma anche per la sostanziale carenza di città in grado di bilanciarne il ruolo.

Nel corso degli anni Ottanta, l'accentuarsi di tali squilibri e il decadimento dell'*asset* produttivo delle città capoluogo fanno sì che, al modello funzionalista centrato sulla crescita e sul ruolo trainante del polo urbano per la regione di riferimento, si sostituisca il modello "centro-periferia". Quest'ultimo, riferibile alle geografie radicali, connota negativamente l'assetto territoriale che, nelle due regioni monocentriche per eccellenza, si è delineato nel periodo del *boom* economico. Non solo il gradiente centro-periferia va rapportato all'area metropolitana per comprendere le dinamiche sociali ed economiche tra la città storica e i centri satellite, ma diventa anche la chiave di lettura per capire i rilevanti squilibri delineatisi a scala regionale. Non è un caso se le politiche di gestione e pianificazione considerino, a scala metropolitana ma ancor più a scala regionale, il decentramento dei servizi un asse portante per la competitività e la sostenibilità dei sistemi locali nelle regioni Lazio e Campania (Mautone e Sbordone, 1983).

Anche per effetto di tali problematiche, la spinta ad una ridefinizione delle Regioni – previste dalla Costituzione, ma attive come Enti solo a partire dal 1970 nel caso di quelle a statuto ordinario – si ripropone con forza negli anni Novanta per le pressioni in senso federale. Ampia risonanza ha avuto, in tal senso, la proposta della Fondazione Agnelli. In una prospettiva geoeconomica, vengono delineate mesoregioni e macroregioni con l'obiettivo di raggiungere un equilibrio tra spesa e gettito fiscale (autosufficienza finanziaria), di ridurre la frammentarietà territoriale per sostenere una progettualità più articolata e rispondente alle esigenze del mercato (Pacini, 1996). Nel caso specifico delle regioni Lazio e Campania, è previsto soltanto un ampliamento attraverso l'accorpamento delle province di Terni per il Lazio e di Potenza per la Campania, mentre il confine tra le due regioni resta inalterato, così come è avvenuto anche in altri progetti di ridisegno regionale.

In tal senso, l'analisi cartografica e statistica si propone come una solida ed imprescindibile base per riflettere sulle attuali ripartizioni amministrative, rivedere criticamente le proposte di ridefinizione regionale, individuarne altre più aderenti alle dinamiche territoriali di medio/lungo termine.

3. Le fonti di dati e l'approccio metodologico

Per ripensare criticamente l'attuale ripartizione amministrativa, l'indagine territoriale e cartografica si è avvalsa dell'individuazione di fonti eterogenee da analizzare in ambiente GIS.

Nello specifico, sono stati esaminati i dati ISTAT relativi ai censimenti sulla popolazione residente nei comuni dell'area di studio al 1971 e al 2011 (ISTAT, 1971 e 2011); la cartografia relativa ai grafi del reticolo stradale e ferroviario (www.openstreetmap.org) che attraversano l'area studio; i comuni che compongono i Sistemi Locali del Lavoro (SLL) definiti dall'ISTAT nel 1991.

I dati relativi ai censimenti sulla popolazione sono stati acquisiti sia da fonti cartacee sia direttamente dal sito ufficiale dell'ente (www.istat.it), da cui sono stati ricavati anche i *file* vettoriali (in formato *shapefile*) dei comuni indagati. In seguito, i dati dei censimenti sono stati organizzati in *database* aventi in comune con il *file* vettoriale delle unità amministrative comunali il campo 'Codice ISTAT' (utilizzato in un secondo momento come campo per l'operazione di *join* tra *database* e *file* vettoriale). Dopo aver associato a ciascun comune la popolazione nei due periodi considerati, si è inteso creare la cartografia tematica inerente all'incremento/decremento demografico delle unità amministrative analizzate. Per ovviare ad un confronto geografico in realtà poco significativo se basato sui valori assoluti, è stato elaborato il tasso percentuale di variazione della popolazione per il periodo 1971-2011. Tale tasso rende paragonabili realtà territoriali molto diverse (ad esempio, la città di Roma e il comune di Itri) in quanto opera su valori relativi.

Com'è noto, infatti, questa variabile statistica viene calcolata come differenza relativa percentuale tra i valori della popolazione considerati in due successivi momenti temporali (Fraire e Rizzi, 2002), secondo la seguente formula: [(Popolazione al tempo T_1 – Popolazione al tempo T_0) / Popolazione al tempo T_0] * 100.

Nel presente caso il tempo T_0 corrisponde al 1971, mentre il tempo T_1 al 2011. La carta del tasso di decremento/incremento della popolazione, opportunamente classificata[5], è riportata in figura 4 (paragrafo 4.1).

A questa cartografia tematica sono stati sovrapposti i *layer* relativi alle infrastrutture viarie e ferroviarie. Come già accennato, l'obiettivo è comprendere se esse hanno avuto un ruolo nella distribuzione spaziale della popolazione e se hanno contribuito all'incremento/decremento della stessa nelle singole unità amministrative. Nello specifico, sono state considerate le strade principali e le linee ferroviarie (fig. 2a e fig. 3a) acquisite da uno dei *server* di riferimento del progetto OpenStreetMap[6] (OSM), ossia Geofabrick al sito www.geofabrik.de. Per ogni strato informativo di OSM messo a disposizione su Geofabrick inerente, ad esempio, l'intera cartografia di uno Stato, è possibile accedere ad informazioni più dettagliate disponibili nella tabella attributi.

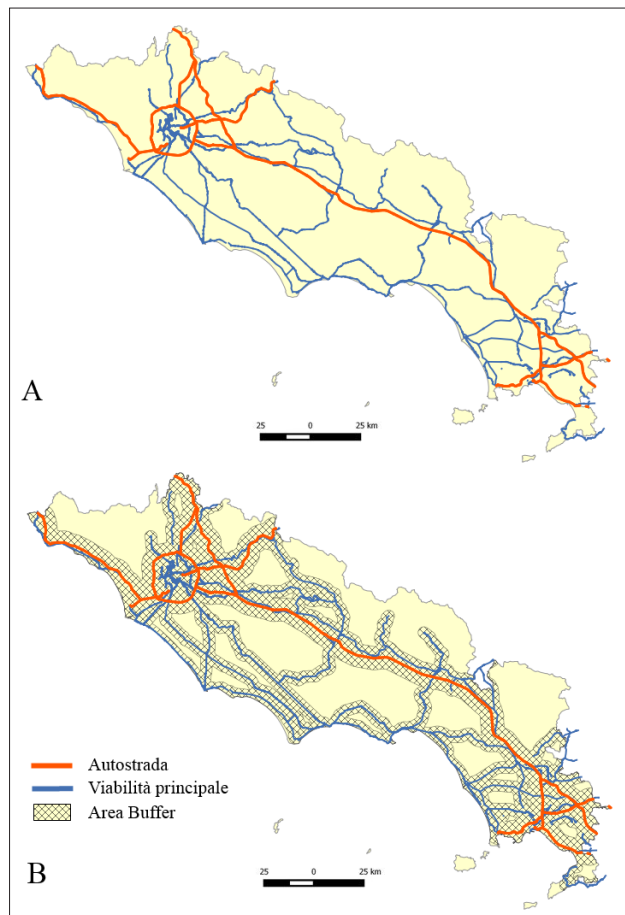
Nel presente caso, utilizzando queste informazioni, sono stati selezionati il *layer* strade (denominato *roads*) e il *layer f*errovie (denominato *railways*). Entrambi i *layer* sono di tipo lineare. Relativamente alle strade, dal *layer roads* sono state selezionate le strade classificate da OSM come 'primarie', ossia le autostrade, le superstrade, le strade extraurbane principali, le tangenziali e le strade di importanza nazionale (Mauro, 2013). Dopo aver effettuato tale selezione, si sono delimitate le 'aree

5 La procedura di classificazione adottata non assume solo principi di natura statistica ma anche di tipo 'manuale'. I dati sono stati classificati in sette classi tese ad evidenziare al massimo decremento ed incremento percentuale della popolazione. Essa trova come 'punti di rottura' valori prossimi ai quantili (ossia dei valori statistici che dividono la distribuzione in sette classi con uguale frequenza pari a circa il 15%) oltre al valore 'zero' (che puntualizza calo o crescita della popolazione).

6 Per quanto concerne OSM, com'è noto si tratta di un progetto di cartografia collaborativa nata nel 2004 nell'ambito del complesso universo del Web 2.0, il cui canale principale è il sito ufficiale (Ramm *et al.*, 2011). Sono disponibili dati geografici riferiti alla visualizzazione a schermo (è sufficiente esportarli nel formato desiderato) o riferiti ad un'intera nazione. In questo caso i dati sono caricati ed aggiornati quotidianamente sul server denominato Geofabrick e vengono forniti gratuitamente a tutti (non è necessario essere iscritti al progetto OSM) nel formato vettoriale più comune (.shp).

FIGURA 2 – Autostrade e viabilità principale (riquadro A); area di influenza (*buffer*) sulle principali linee di connessione stradale (riquadro B)

FONTE: elaborazione dell'autore su dati OSM

FIGURA 3 – Linee ferroviarie tra Roma e Napoli (riquadro A); area di influenza (*buffer*) sulle linee di trasporto su ferro (riquadro B)

FONTE: elaborazione dell'autore su dati OSM

di influenza' (*buffer areas*). Nel caso delle autostrade, per valutare la distanza massima di influenza, è stato dapprima stimato il valore medio di distanza dei caselli autostradali nell'area studio, pari a circa 10 Km. Successivamente è stato considerato il relativo 'semivalore', circa 5 Km, assunto come 'distanza dell'indifferenza': per l'utente che deve accedere all'autostrada e che abita ad una distanza equa dai caselli A e B sarà 'indifferente' scegliere una o l'altra via d'accesso. La scelta dipenderà esclusivamente dalla direzione verso cui deve proseguire. Nel caso delle strade primarie, ovvero le strade a scorrimento veloce, tale valore di *buffer*[7] è stato dimezzato (2,5 km) in relazione alla velocità e all'intensità del flusso, anche se bilanciato dalla numerosità degli assi ascrivibili a tale tipologia. Il risultato è riportato in figura 2b.

Un procedimento analogo è stato applicato alle linee ferroviarie (fig. 3b). Anche in questo caso, è stata considerata la distanza media tra tutte le stazioni disposte lungo il tracciato interno e quello costiero: il valore attribuito è pari a quello dell'asse autostradale, ovvero 5 km. A differenza della linea autostradale, i cui punti d'accesso o di uscita sono per l'utente equivalenti, nel caso delle linee ferroviarie va sottolineato che esiste una gerarchia tra le stazioni in relazione alla velocità

7 Per valore di *buffer* s'intende distanza tra il vettore lineare considerato e il bordo dell'area di *buffer*. Questo implica che l'area di *buffer* dell'asse autostradale ha un'ampiezza complessiva di 10 km.

dei collegamenti supportati. Sono pochi, tuttavia, i centri interessati da linee di rilievo; questi coincidono con la città capoluogo delle tre province e con la seconda città più rilevante all'interno di queste. Si tratta di Latina e Formia, Frosinone e Cassino, Caserta ed Aversa; soltanto Caserta è interessata dalla linea ad alta velocità che collega Roma alla Puglia. Analizzando gli altri accessi di livello inferiore, si nota che questi punteggiano tutta la linea, garantendo di fatto un'elevata possibilità di fruizione del servizio infrastrutturale ai residenti nei comuni disposti lungo l'asse ferroviario. Trattandosi di un'areale abbastanza ristretto, i tempi di trasporto non si riducono sensibilmente passando da una tipologia di collegamento ad un'altra (es. intercity o treni regionali); ciò rende quasi ininfluente la preferenza accordata alle varie linee tra gli utenti[8].

In ultima analisi è stata creata la cartografia dei Sistemi Locali del Lavoro (SLL) secondo le indicazioni fornite da ISTAT. Infatti, nel 1991, l'Ente Nazionale di Statistica ha definito le aree di attrattività dei principali centri urbani in base ai valori di pendolarismo. Per ogni comune ricadente nell'area studio è stato dapprima definito l'SLL di appartenenza (e il relativo centro urbano di riferimento); in un secondo momento i diversi SLL sono stati classificati in funzione della posizione geografica del centro di riferimento (costa, entroterra, appartenenza/prossimità alle aree metropolitane). In figura 6 (paragrafo 4.2) viene riportata la cartografia di sintesi della problematica analizzata.

4. Dal collegamento alla coesione: il ruolo dei corridoi infrastrutturali

Negli ultimi decenni, la riduzione dei costi e dei tempi di trasporto, la tendenza alla controurbanizzazione e alla diffusione urbana hanno incrementato la coesione funzionale – ma anche insediativa – di un'area che, dal punto di vista amministrativo, è divisa tra due regioni e in ambito geografico è stata, fino agli anni Ottanta, ripartita tra le aree gravitazionali dei due poli urbani di Roma e Napoli.

Analogamente a quanto già avvenuto tra le metropoli dell'Alta Pianura Padana (anche se con modalità e ritmi diversi per le reti urbane di partenza e per il diverso momento economico), il modello ad aree gravitazionali si mostra oggi riduttivo per spiegare la complessità delle relazioni urbane e sociali (Dematteis ed Emanuel, 1992), sollecitando ad un ripensamento della ripartizione amministrativa. Più che riproporre un'articolazione basata su due aree gravitazionali, si potrebbe oggi ipotizzare la formazione di due fasce interagenti a vari livelli, sempre più coese per le intense relazioni economiche e culturali che coinvolgono sia le due metropoli sia i centri tra esse interposti.

4.1 Il modello a due fasce

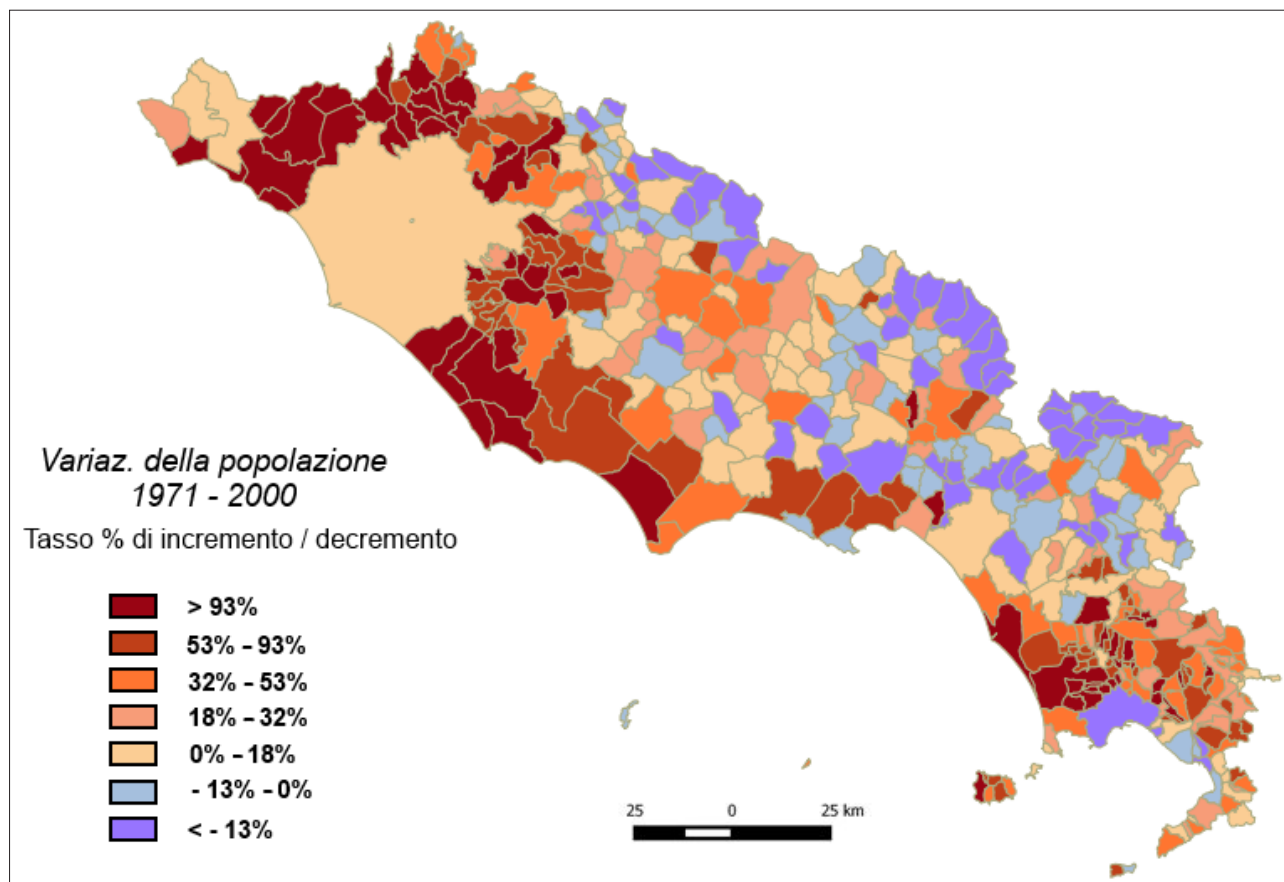
Nell'elaborazione cartografica relativa alla variazione della popolazione tra il 1971 ed il 2011, si evidenzia il peso acquisito sia dai comuni a ridosso delle due città (fig. 4) sia da quelli ai margini dei principali corridoi infrastrutturali (costiero ed interno) che si snodano tra la Capitale e la città partenopea (fig. 5).

Tra le due fasce, quella litoranea appare già strutturata per la consueta attrazione esercitata dalla costa (Calcagno, 2006) e le condizioni geomorfologiche estremamente favorevoli, per la presenza di un'articolata viabilità primaria, nonché per una linea ferroviaria di grande rilievo. L'incremento demografico fa registrare infatti valori molto elevati, in particolare nei comuni costieri prossimi alle aree metropolitane di Napoli e di Roma. Questi hanno visto una sensibile perdita delle funzioni turistiche a vantaggio di quelle residenziali, anche per il progressivo degrado delle qualità ambientali e paesaggistiche[9].

Rappresentano un'eccezione Gaeta e Sperlonga, unici comuni della fascia litoranea a caratterizzarsi per una graduale perdita di popolazione. Si tratta di un'anomalia riconducibile alla peculiare posizione geografica di questi due abitati (entrambi si sviluppano su promontori abbastanza accidentati), alle valenze paesistico-am-

8 Si precisa, comunque, che un'analisi cartografica basata su aree d'influenza circolari relative ai singoli punti d'accesso (accessi autostradali e/o ferroviari) ha un valore del tutto analogo all'analisi condotta con aree d'influenza di tipo lineare, vista l'elevata densità dei punti d'accesso. Proprio per questo, nel presente studio, si è scelta la seconda metodologia.

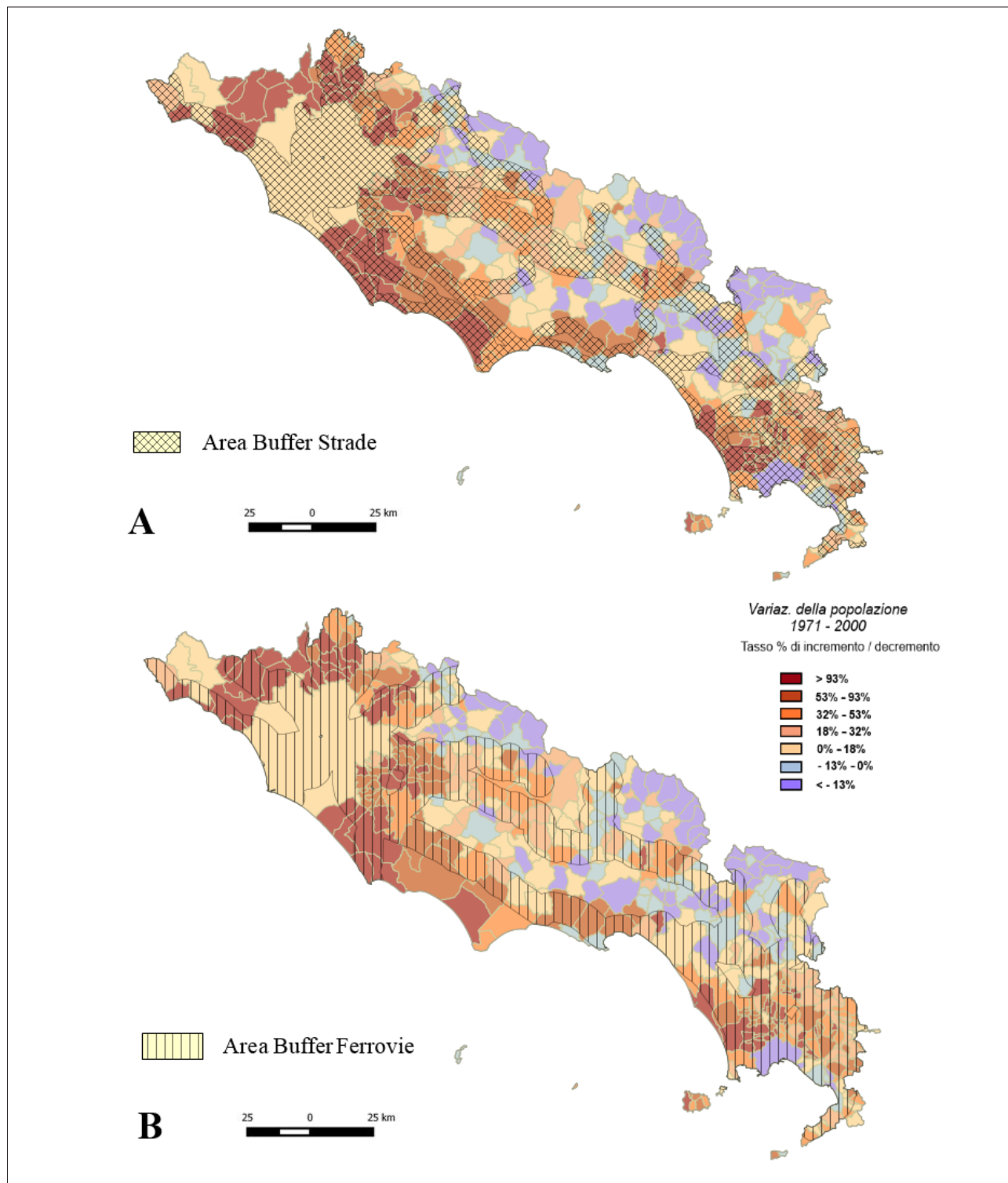
9 I comuni campani di Castel Volturno e Mondragone ne sono sicuramente un esempio concreto.

FIGURA 4 – La variazione della popolazione a scala comunale tra Napoli e Roma

FONTE: elaborazione dell'autore su dati ISTAT 1971-2011

bientali non compromesse (sono lontani dalle foci del Volturno e del Garigliano, in un tratto di costa alta tra la Piana Campana e la Piana Pontina), ma soprattutto alla mancanza di un collegamento ferroviario diretto con le due aree metropolitane e con Latina. Non è un caso, infatti, se una situazione completamente diversa contraddistingue i retrostanti centri di Itri e di Fondi serviti dalla linea ferroviaria.

L'infittirsi del tessuto insediativo e l'acquisizione di un peso demografico sempre più rilevante nell'area a ridosso del confine tra Lazio e Campania hanno un valore non marginale nel passaggio da un'organizzazione del territorio "per sfere d'influenza a rete gerarchica" ad una "per complementarità funzionale e reticolo urbano".

Al contrario, le connotazioni geomorfologiche del corridoio interno (valle del Sacco, valle del Liri) determinano lo scorrimento delle linee di trasporto su ferro e su gomma in una fascia più ristretta rispetto alle piane costiere, come si può chiaramente dedurre dalla carta d'inquadramento dell'area. Di rimando, le linee d'accessibilità insistono sempre sugli stessi comuni che vedono, per questo, aumentare sensibilmente la loro popolazione a discapito di quelli limitrofi, disposti lungo il Preappennino e l'Appennino laziale. In passato meno attrattiva dal punto di vista commerciale e residenziale rispetto alla linea di costa e alle relative piane, la fascia interna si va progressivamente irrobustendo per il potenziamento dell'asse autostradale e per la realizzazione della linea ad alta velocità. Senza dubbio la preferenza accordata al corridoio interno rispetto a quello litoraneo per la costruzione di tale linea, da ricondurre proprio all'eccessiva pressione insediativa sulla costa, ha riproposto

FIGURA 5 – Sovrapposizione del cartogramma relativo alla variazione demografica con aree buffer delle principali linee di trasporto su gomma (riquadro A) e aree buffer delle principali linee ferroviarie (riquadro B)

FONTE: elaborazione dell'autore

all'attenzione le valli interne del Basso Lazio (nonostante si tratti di un collegamento diretto tra Napoli e Roma senza ricadute sul territorio d'attraversamento in termini di accessibilità e connessione). Tale limite, intrinseco al concetto stesso di "linea ad alta velocità", è ampiamente compensato dalla presenza dell'asse autostradale le cui uscite/entrate raccordano i centri disposti lungo il corridoio interno, determinando l'inserimento di attività e l'incremento di residenze[10].

Nella parte più meridionale, il reticolo della viabilità primaria copre quasi interamente l'area tra Caserta e Napoli, facendo emergere un tessuto unitario dal carattere metropolitano (Dal Piaz, 1995). Il discorso è analogo per le aree di influenza relative alle ferrovie: in prossimità delle metropoli i centri sono coperti da un sistema capillare e ancora una volta emerge, per quanto riguarda l'area partenopea, la relazione stretta tra Napoli, Caserta ed i centri tra essi interposti nella Piana campana.

Tra i due corridoi – quello interno e quello costiero, entrambi contraddistinti da comuni con una variazione demografica positiva – si nota una fascia intermedia in cui prevalgono valori di decremento demografico anche marcati. Sono i comuni che insistono sui rilievi preappenninici dei Lepini, degli Aurunci e degli Ausoni, nonché sul Roccamonfina e sui primi rilievi dell'Appennino campano e laziale. Le ragioni vanno ricondotte a carenze in termini di linee ferroviarie e di viabilità a scorrimento veloce[11]. Le connessioni sono assicurate esclusivamente da assi trasversali: tuttavia, si tratta di una viabilità che non riesce a ribaltare la perdita di popolazione dell'area non solo ad est del corridoio interno (in corrispondenza dell'Appennino laziale e campano) ma anche nella fascia intermedia.

Dai due corridoi principali (uno interno e l'altro litoraneo) si dipartono alcuni assi trasversali di collegamento e diverse "propaggini" verso i centri in posizione marginale, ma anche in questo caso il calo della popolazione è strutturale.

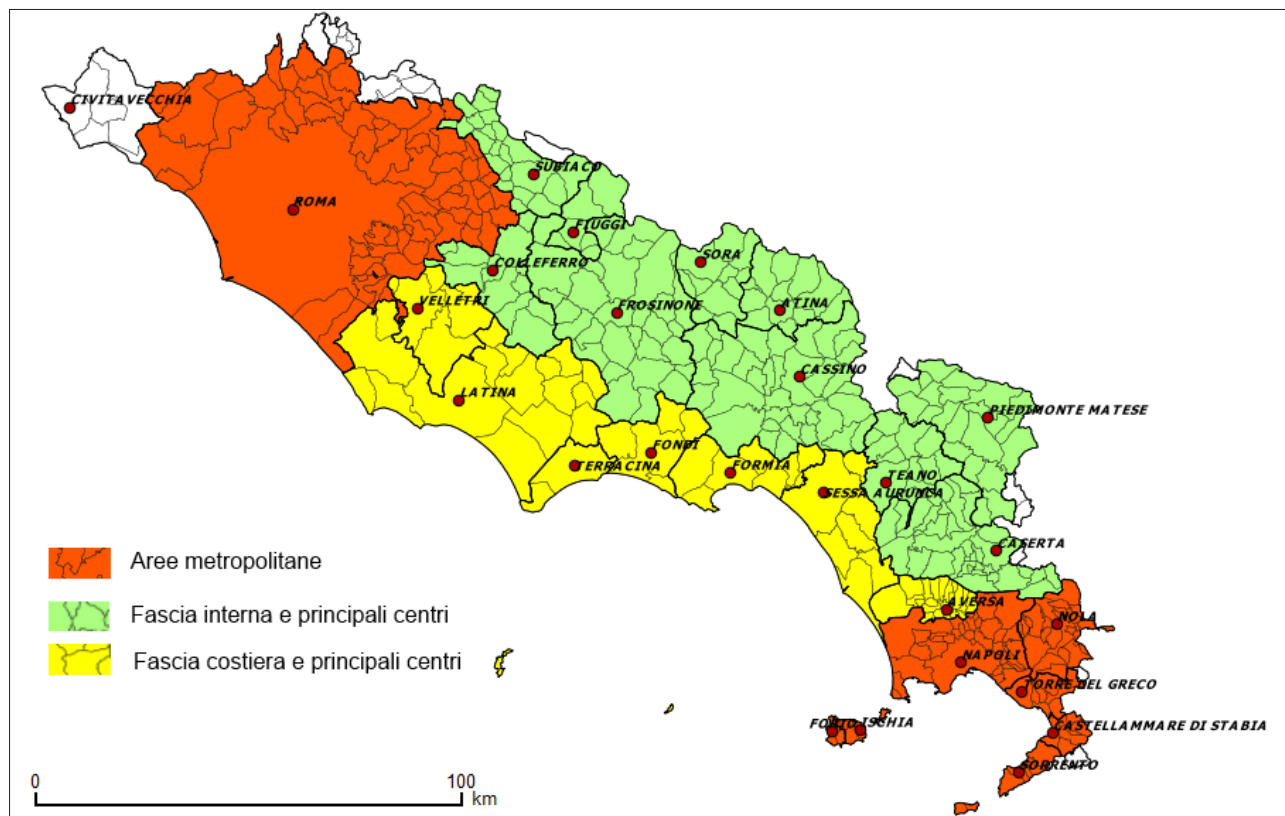
4.2 Il consolidamento dei centri intermedi

Nuovi modelli insediativi sembrano caratterizzare quest'area, la cui complessa morfologia urbana deriva essenzialmente dall'interazione di due fattori. In primo luogo, la tendenza della popolazione a spostarsi oltre la città capoluogo dell'area metropolitana, in un processo d'incremento demografico che investe prima i centri limitrofi e poi quelli più esterni. Questi ultimi non sono inseriti nell'area metropolitana vera e propria, ma di fatto ne costituiscono un'estensione. In secondo luogo, l'accentuarsi di tale "scivolamento" della popolazione dai margini del contesto metropolitano verso i centri dell'area intermedia tra Roma e Napoli. Qui si sommano gli effetti del decentramento che interessa le due metropoli e, nel contempo, si rafforzano centralità preesistenti, si creano le condizioni per l'inserimento di attività e servizi, si generano nuovi fattori d'attrattività che – a loro volta – determinano un progressivo irrobustimento dell'assetto urbano.

Analizzando i dati ISTAT per il decennio 2001-2011, emerge che il saldo positivo delle aree metropolitane in Italia è garantito dai valori d'incremento nei comuni dell'*hinterland*, mentre arresto o decremento demografico contraddistinguono le città capoluogo (CUSPI, 2013). Tale dinamica trova riscontro anche nelle aree metropolitane di Roma e Napoli in cui continuano a crescere i comuni di piccola o media taglia demografica. Di rimando, se la città di Roma ha fatto registrare una tenuta nell'ultimo decennio, quella di Napoli mostra segni più marcati di tale involuzione (-4,2%), da ricondurre anche a ragioni di carattere geomorfologico, oltre che socio-economico A questa dinamica demografica, ormai consolidata nelle aree metropolitane italiane, nel caso specifico ne va associata un'altra che riguarda i centri delle province intermedie. Fatta eccezione per i comuni disposti lungo i rilievi appenninici e preappenninici in cui le connotazioni dei siti e lo svantaggio della posi-

10 Al contrario, per quanto riguarda il trasporto su ferro, lungo la fascia costiera è assicurata una maggiore connessione tra i centri; emergono Formia e Latina come nodi a livello nazionale, oltre che a scala interregionale. Anche con Napoli e con l'area metropolitana, il collegamento è agevole e avviene senza scambi, mentre per i centri della fascia interna la connessione con la città partenopea è mediata attraverso il nodo di Caserta. Da qui il ruolo ambivalente di quest'ultima città, da un lato protesa verso il capoluogo campano fino quasi a divenire parte integrante dell'area metropolitana, dall'altro rivolta verso i centri dell'entroterra appenninico e delle valli interne.

11 A differenza di quanto riscontrato per le aree *buffer* relative alla viabilità, sono chiaramente assenti quelle trasversali di raccordo tra i due corridoi ferroviari, mentre le propaggini verso i centri di riferimento dell'area più interna (Piedimonte, Sora, Atina) assicurano ancora una discreta vitalità agli stessi per il rapido collegamento con le linee ferroviarie principali.

FIGURA 6 – I Sistemi Locali del Lavoro (SLL) e la peculiare configurazione a due fasce dell'area tra Roma e Napoli. Per ogni SLL viene delimitata la relativa area di influenza e localizzato il centro di riferimento

FONTE: elaborazione dell'autore

zione ancora determinano saldi negativi (es. Roccasecca dei Volsci -6,2%, Rocca d'Arce -5,8%, Rocca d'Evandro -9,5%), nel decennio 2001-2011 valori d'incremento interessano in particolare i comuni della provincia di Latina (Terracina 20,7%; Fondi 19,8%, Latina 9,3%) e di Caserta (es. Teverola 38%, Capodrise 30%, Castel Volturno 22%, Mondragone 12%), ma anche della più interna provincia di Frosinone (Cassino 2,7%, Ceprano 6%). Se si considera un intervallo temporale più ampio (1971-2011), è facile comprendere il ruolo che vanno assumendo tali centri posti tra le due aree metropolitane, anche per il ridursi del fattore distanza.

Le considerazioni di carattere demografico ed infrastrutturale vengono, inoltre, confermate da un'analisi del sistema di relazioni che contraddistingue il territorio tra Roma e Napoli. In tal senso, i Sistemi Locali del Lavoro (SLL), scaturiti per la prima volta dal Censimento Istat del 1991, restituiscono un'articolazione del territorio basata su relazioni socio-economiche e connessioni tra centri spesso in contrasto non solo con la maglia amministrativa attuale, ma anche con i disegni regionali proposti negli anni Novanta. La disposizione dei SLL tra Lazio e Campania evidenzia, infatti, che i centri di riferimento per ciascun sistema sono allineati lungo i due corridoi infrastrutturali, quello litoraneo e quello interno. Ciò è chiaramente legato alle condizioni di forte accessibilità che assicurano a ciascun centro la possibilità d'intrattenere relazioni non solo con i centri localizzati lungo lo stesso asse, ma soprattutto con le due aree metropolitane (fig. 6).

Analizzando la configurazione dei SLL, si nota inoltre che questi non sono mai trasversali rispetto ai due corridoi infrastrutturali, ma si dispongono in senso longitudinale rispetto ad essi, rimarcando l'articolazione del territorio in due fasce convergenti sulle aree metro-

FIGURA 7 – L'area di collegamento tra le metropoli di Roma e Napoli: una nuova entità territoriale?
Riquadro A: le province coinvolte (in rosso, le aree metropolitane; in giallo, le province dell'area intermedia).
Riquadro B: i Sistemi Locali del Lavoro (SLL) afferenti alla fascia interna (verde), alla fascia costiera (giallo) e alle due aree metropolitane (rosso)

FONTE: elaborazione dell'autore

politane. Come si deduce anche dal decremento demografico in atto (fig.4), i comuni della fascia intermedia (quella in corrispondenza dei rilievi pre-appenninici che dividono le piane costiere dalle valli interne) non riescono a generare processi di attrazione e, per questo, si rivolgono ai centri più vicini del corridoio costiero oppure a quelli del corridoio interno[12].

Ad una scala di maggior dettaglio, nella fascia interna il SLL imperniato su Cassino coinvolge numerosi comuni della Campania settentrionale che trovano un punto di riferimento nel centro laziale, andando oltre l'attuale ripartizione amministrativa. Tale discorso trova ragioni ancor più valide nella fascia costiera in cui il confine regionale spezza un'area unitaria non solo dal punto di vista storico-culturale, ma anche geomorfologico, ossia la Piana del Garigliano.

5. Una nuova entità territoriale tra le due aree metropolitane?

Pur non pretendendo di essere esaustivo, il presente contributo ha inteso verificare l'ipotesi di una nuova entità territoriale compresa tra le due aree metropolitane di Roma e Napoli. Dopo aver preso in esame fonti eterogenee (statistiche e cartografiche) sono state elaborate alcune cartografie inerenti alle tematiche demografiche e attrattività lavorativa del territorio. Dalle analisi cartografiche realizzate emergono: a) l'incidenza del ruolo delle infrastrutture viarie e ferroviarie sulle dinamiche demografiche (decremento nelle aree non raggiunte da infrastrutture; incremento nelle aree più accessibili); b) la corrispondenza tra attrattività lavorativa dei centri e relativa posizione lungo i corridoi infrastrutturali, quello litoraneo e quello dell'entroterra, individuati nella prima fase di studio.

Se consideriamo che le aree metropolitane di Roma e Napoli andranno inizialmente a coincidere (come previsto dalla Legge n. 56/2014) con le attuali province, il territorio intermedio sarà costituito proprio dall'insieme dei centri disposti lungo i due corridoi infrastrutturali.

Anche se, come emerge dal confronto tra le elaborazioni cartografiche (fig. 6 e fig. 7a), i SLL generati da tali centri e i confini provinciali non sono perfettamente sovrapponibili, si può ipotizzare la definizione di una nuova entità territoriale tra il Lazio meridionale e la Campania settentrionale[13]. Il filo rosso di questo sistema è dato proprio dalle infrastrutture di collegamento tra le città metropolitane di Roma e Napoli e le relative aree d'influenza (fig. 7b).

Compressa tra i due poli della rete urbana centro-meridionale, l'area intermedia – al momento individuata per semplice sottrazione delle due province metropolitane di Roma e Napoli – potrà assumere un ruolo marginale o, al contrario, avvantaggiarsi della propria posizione e andare oltre la logica delle reti metropolitane (Soja, 2000). Questo se saprà – grazie ad un'adeguata ripartizione amministrativa – proporsi all'esterno come un sistema coeso, in grado di bilanciare il peso delle due metropoli e stabilire non rapporti di rigida dominanza-dipendenza, ma significative connessioni di complementarità funzionale. Il rischio, infatti, consiste nella possibile marginalizzazione di questi territori che vivono una fase d'incremento demografico e di profonda trasformazione socio-economica, mantenendo tuttavia una gestione frammentaria, senza essere inseriti in logiche di *governance* di area vasta (CUSPI, 2013).

L'articolazione individuata per l'area intermedia tra le metropoli di Roma e Napoli è finalizzata a delineare una regione più solida per dimensione demografica, estensione territoriale, struttura economico-produttiva con la finalità di dare slancio e promuovere lo sviluppo integrato di un settore del litorale tirrenico e del relativo entroterra che comprende le province del Basso Lazio e della Campania settentrionale.

12 Gli stessi SLL imperniati sui centri di Sora, Atina e Piedimonte Matese – ovvero quelli posti verso l'Appennino laziale e campano al margine del corridoio infrastrutturale interno e in decremento demografico – si riferiscono rispettivamente ai centri di Frosinone, Cassino, Caserta in grado di generare SSL ben più rilevanti per numero di comuni e popolazione coinvolta.

13 Tale ipotesi non contrasta con le aspirazioni delle altre province: Viterbo e Rieti da una parte e Salerno, Avellino, Benevento dall'altra. Si auspica un'azione di riequilibrio tra le due metropoli e i territori contermini, in particolare quelli appenninici, che mal sopportano la gestione dei rispettivi capoluoghi. Troppo distanti, infatti, sono gli scenari di sviluppo e le problematiche di carattere sociale per essere ricomprese ed affrontate da un unico ente regionale; è ancora percepito come troppo forte il movimento centripeto che attrae giovani, attività, servizi qualificati dai comuni periferici verso gli organismi metropolitani (Schirone e Torkan, 2013).

Si possono giudicare più o meno fondate le diverse proposte; emerge, tuttavia, chiaro il bisogno di riorganizzare la maglia amministrativa secondo criteri di efficienza e funzionalità. Il "neoregionalismo" non va inteso esclusivamente come un processo *bottom-up* e il dissenso verso le regioni attuali non è un fenomeno trascurabile e transitorio che interessa aree periferiche o ambiti ben individuabili del nostro Paese[14]. Al contrario, si tratta di un sentimento diffuso e generalizzato che coinvolge la Penisola nella sua interezza e che va al più presto incanalato in un disegno unitario, armonico, innovativo (Società Geografica Italiana, 2013).

14 Al tono elevato della dissertazione promossa da studiosi di varia provenienza (geografi, storici, economisti, giuristi) sul tema della ripartizione territoriale (es. Fondazione Agnelli, 1993; Società Geografica Italiana, 2013), alle visioni ampie e di largo respiro promosse per l'interesse generale del Paese, fanno da contrappunto le richieste particolaristiche di comitati, organizzazioni, liste che promuovono ritagli territoriali alternativi senza, tuttavia, tener conto del quadro generale. Testate giornalistiche nazionali e locali, siti web, manifesti variamente sottoscritti, nonché accordi di programma, richieste di distacco o aggregazione da parte di singoli comuni costituiscono materiali eterogenei riaccorpati – di volta in volta – a sostegno di varie ipotesi, spesso in contraddizione tra loro.

Bibliografia

BARTALETTI F. (2009), Le aree metropolitane in Italia e nel mondo, Bollati Boringhieri, Torino.

CALCAGNO E. (2006), Paesaggio costiero, sviluppo turistico sostenibile, Roma, Gangemi.

CASTELNOVI M. (2012), Regioni alternative. Verso una nuova geografia amministrativa, Aracne editrice, Roma.

CELANT A., DEMATTEIS G., FUBINI A., SCARAMELLINI G., (1992), Caratteri generali e dinamica recente del fenomeno urbano in Italia, in DEMATTEIS G., Il fenomeno urbano in Italia: interpretazioni, prospettive, politiche, Franco Angeli, Milano, pp. 13-50.

COORDINAMENTO UFFICI STATISTICA DELLE PROVINCE ITALIANE – CUSPI, (2013), I dati del 2001-2011 a confronto: l'evoluzione delle piccole e medie città italiane nelle aree metropolitane, www.milanocittàmetropolitana.org.

DAL PIAZ A. (1995), La Campania verso il duemila: assetto e sviluppo dopo la fine dell'intervento straordinario, Ed. Graffiti, Napoli.

DA POZZO C., MAUTONE M., SBORDONE L. (1983), Gerarchia e aree di attrazione delle città italiane, in CORI B., Città, spazio urbano e territorio in Italia, Franco Angeli, Milano, pp.100-120.

DEMATTEIS G., EMANUEL C., (1992), La diffusione urbana: interpretazioni e valutazioni, in DEMATTEIS G., Il fenomeno urbano in Italia: interpretazioni, prospettive, politiche, Franco Angeli, Milano, pp. 91-103.

DI GRANDI A.M. (2009), Analisi statistiche a supporto della pianificazione provinciale, "Urbanistica", 138, INU Edizioni, Roma, pp. 73-74.

FRAIRE M., RIZZI A. (2002), *Statistica*, Carocci Editore, Roma.

GAMBI L. (1998), L'invenzione delle regioni italiane, "*Geografia Antiqua*", 1998, 7, pp.89-92.

GAMBINO R. (2009), Un patrimonio da difendere e valorizzare, "Urbanistica", 138, INU Edizioni, Roma, pp. 43-46.

FERLAINO F., MOLINARI P. (2009), Neofederalismo, neoregionalismo e intercomunalità. Geografia amministrativa dell'Italia e dell'Europa, Il Mulino, Bologna.

FONDAZIONE GIOVANNI AGNELLI (1994), Il nostro progetto geopolitico, "*Limes*", 4, Roma, pp. 147-156.

FRULLI C. (1845), Fisiche regioni peninsulari e insulari dell'Italia, "*Annuario Geografico Italiano*", Ufficio di Corrispondenza Geografica in Bologna, pp. 92-104.

ISTAT (1971; 2011), Censimenti della popolazione e delle abitazioni, Roma. www.istat.it.

ISTAT (1997), I sistemi locali del lavoro, Roma. www.istat.it.

LANDINI P. (2013), Il ritaglio amministrativo nell'evoluzione territoriale dello stato italiano, in CASTELNOVI M., Il riordino territoriale dello Stato. Riflessioni e proposte della geografia italiana, Società Geografica Italiana, Roma pp.113-126.

LEGGE N.142/1990, Ordinamento delle autonomie locali.

LEGGE N.56/2014, Disposizioni sulle città metropolitane, sulle province, sulle unioni e fusioni di comuni.

MAURO G., (2013), *Digital Divide* e mappe partecipative: *OpenStreetMap* e la rappresentazione cartografica della viabilità. Un'analisi comparata tra le province di Benevento e Trento, "Bollettino AIC", 147, pp. 93-108.

MAUTONE M., SBORDONE L. (1983), Città e organizzazione del territorio in Campania., Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli.

MAUTONE M., GUARENTE G. (1995), L'autorità di Bacino per la gestione del territorio: premesse e contraddizioni, in GAMBI L., MERLONI F., Amministrazioni pubbliche e territorio in Italia, Il Mulino, Bologna, pp. 303-336.

MAUTONE M., RONZA M. (2009), Patrimonio culturale e paesaggio. Un approccio di filiera per la progettualità territoriale, Gangemi, Roma.

PACINI M. (1996), Un federalismo dei valori, Edizioni della Fondazione Agnelli, Torino.

RAMM F., TOPF J., CHILTON S. (2011), *Open Street Map. Using and Enhancing the Free Map of the World,* UIT Cambridge, Cambridge.

SCHIRONE D.A., TORKAN G. (2013), Le città metropolitane: nuove forme di *governance*, in AMATO V., Innovazione, impresa e competitività territoriale nel Mezzogiorno, Aracne, Roma, pp. 33-40.

SOCIETÀ GEOGRAFICA ITALIANA (2013), Per un riordino territoriale dell'Italia, Roma.

SCARAMELLINI G. (2004), Aree metropolitane, in IGM, *Italia. Atlante dei tipi geografici*, Firenze, pp.482-489.

SOJA E.W. (2000), *Postmetropolis. Critical studies of cities and regions*, Blackwell Publishers, Oxford.

VALLEGA (1995), La regione, sistema territoriale sostenibile, Mursia, Milano

Sitografia

http:// sit.regione.campania.it/, Geoportale Regione Campania

http://www.geofabrik.de, Sito del server Geofabrick, distributore di dati Open Street Map

http://www.ildistrettoidrograficodellappenninomeridionale.it/, Portale delle Autorità di Bacino

http://www.istat.it

http://www.istat.it/sit.regione.campania.it/, Geoportale Regione Campania

http:// www.openstreetmap.org, Sito Ufficiale del Progetto OpenstreetMap

Le fonti informative per il monitoraggio del consumo di suolo

Information sources for monitoring land take

Giorgia Iovino*

Riassunto

La questione del consumo del suolo sta assumendo un'importanza crescente nel dibattito scientifico e istituzionale sullo sviluppo sostenibile ed il buon governo del territorio. In ambito europeo, molti paesi tra cui Regno Unito, Germania, Francia, Paesi Bassi hanno introdotto un mix di misure di natura normativa e fiscale per contenere lo *sprawl* urbano e regolamentare gli usi del suolo e la stessa Commissione europea è già da tempo impegnata a favorire un uso più sostenibile del territorio.

L'attenzione verso il tema ha rilanciato l'interesse per gli strumenti analitici utilizzabili per la misurazione del "consumato" ed ha accresciuto la domanda di informazione sugli usi del suolo.

Il presente lavoro, muovendo da tale esigenza, fornisce una rassegna critica delle principali fonti informative per il monitoraggio del consumo del suolo utilizzabili in ambito europeo con un approfondimento sull'Italia.

Parole chiave

Fonti informative, consumo di suolo, Italia

Abstract

The issue of land take has become increasingly important both in the academic and in the political debate on sustainable development and good governance of the territory. In Europe, many countries including UK, Germany, France, Netherlands have introduced a mix of regulatory and fiscal measures to contain urban sprawl and regulate land uses; the European Commission itself has committed to promote a more sustainable use of the territory.

The attention to this issue has reawakened the interest in the analytical tools used for measuring the settlement areas, increasing the demand for information on land use.

In the aim of meeting such demand, this paper provides a critical review of the main information sources on land take available at European scale, with a focus on Italy.

Keywords

Information sources, land take, Italy

* Dipartimento di Scienze Politiche Sociali e della Comunicazione (DiSPSC) – Università degli Studi di Salerno Via Giovanni Paolo II, 132 – 84084, Fisciano; giovino@unisa.it

1. Introduzione

La questione del consumo del suolo sta assumendo un'importanza crescente nel dibattito scientifico e politico sullo sviluppo sostenibile ed il buon governo del territorio. In ambito europeo, diversi paesi come il Regno Unito, la Germania i Paesi Bassi hanno introdotto un mix di misure di natura normativa e fiscale per contenere lo *sprawl* urbano (Prokop et al. 2011) e la stessa Commissione europea è già da tempo impegnata a favorire un uso più sostenibile della risorsa suolo (EC, 2012).

Secondo le stime elaborate dall'Agenzia Ambientale Europea nell'ambito del progetto *Corine Land Cover*, ogni anno oltre 100.000 ettari di terreni naturali o agricoli, un'area comparabile a quella di Berlino, sono consumati o urbanizzati, in ambito comunitario (UE27) per scopi abitativi, produttivi o ricreativi (EEA e JRC, 2012). Questa trasformazione d'uso comporta una perdita pressoché irreversibile delle funzioni ecologiche svolte dal terreno con pesanti impatti sulla biodiversità, il cambiamento climatico, la produzione alimentare, la frammentazione degli habitat, la regolazione delle acque (EEA e UNEP, 2000; EEA, 2006a; EC-DG Environment, 2012).

Si tratta di un trend insostenibile a lungo termine soprattutto se si considera che il consumo di suolo tende ad interessare i suoli migliori, ossia quelli dotati di maggior pregio per caratteristiche geofisiche, agronomiche, ambientali, paesaggistiche (EEA, 2010a; 2010b). Inoltre, l'espansione (e dispersione) delle superfici artificiali o urbanizzate, generando una maggiore mobilità di merci, persone e servizi, determina inevitabilmente un aumento dei consumi energetici e delle emissioni di inquinanti (EEA, 2006b).

L'allarme *soil sealing* ha rilanciato l'interesse per gli strumenti analitici utilizzabili per la misurazione del "consumato" ed ha accresciuto la domanda di dati geografici sull'uso del suolo. Non vi è dubbio, infatti, che disporre di un quadro informativo completo ed aggiornato delle superfici artificiali (con indicazioni quali-quantitative sulle diverse destinazioni d'uso) così come delle aree agricole e naturali, interne ed esterne al tessuto urbano consolidato (con indicazioni relative a grado di naturalità, valenza agricolo-paesaggistica, vulnerabilità, specificità geologiche, giacitura e rilevanza per le reti ecologiche) può orientare le scelte programmatorie delle amministrazioni (a scala nazionale, regionale e soprattutto locale), indirizzandole verso opzioni trasformative meno gravose in termini di efficienza ambientale.

L'offerta di dati di *land cover/land use* è in ambito nazionale vasta, ma estremamente frammentata e disomogenea (Gardi *et al.*, 2010; ISPRA, 2014;–Lupia *et al.*, 2014). Le diversità riguardano le tecniche di rilevamento, il sistema di classificazione, la copertura territoriale e quella temporale, il grado di accuratezza delle informazioni, le finalità, la scala e le finalità di indagine.
Il presente lavoro prende in esame le principali banche dati sull'uso/copertura del suolo disponibili a scala europea e nazionale illustrandone le principali caratteristiche, al fine di evidenziare i limiti e i vantaggi che possono derivare dal loro uso a secondo degli specifici obiettivi dell'analisi.

La tesi sostenuta è che sebbene sia senza dubbio necessario avviare un percorso di armonizzazione ed integrazione delle fonti informative esistenti, la disponibilità di sorgenti dati diverse per metodologie e finalità può essere utilmente adoperata per ottenere un quadro più articolato ed esaustivo del fenomeno e per approfondire a scale territoriali diverse la conoscenza di problematiche specifiche relative al consumo di suolo.

2. Il concetto di consumo di suolo: definizione e classificazioni

Una delle maggiori difficoltà nell'affrontare il tema del consumo di suolo riguarda la mancanza di una definizione univoca e condivisa del termine. Non si tratta di una questione meramente lessicale in quanto stabilire cosa si intenda e cosa vada esattamente classificato come suolo consumato influisce sulle modalità di rilevazione e misurazione del fenomeno, nonché sulle strategie e le azioni messe in campo per governarlo.

In prima approssimazione possiamo fare riferimento al "consumo di suolo" come al processo di trasformazione di superfici naturali e agricole in superfici artificiali, mediante la realizzazione di edifici, infrastrutture e altre opere materiali necessarie a soddisfare i bisogni primari dell'uomo. È un cambio di destinazione d'uso che nella quasi totalità dei casi comporta la perdita irreversibile, alla scala temporale umana, dello strato superiore

ISSN 2282-472X

della crosta terrestre, che, in condizioni naturali svolge funzioni fondamentali per la vita sulla terra: funzioni produttive (di alimenti, foraggio e biomassa), protettive (della qualità dell'ambiente e di tutela della biodiversità) di regolazione (del clima, del ciclo delle acque e di quelli dell'azoto e del carbonio), di pubblica utilità (correlati ai servizi ecologici offerti alle città attraverso il riciclo dei rifiuti e dei prodotti), estetico-paesaggistiche (EC, 2012). Tale perdita di servizi eco-sistemici[1] è, in linea teorica, controbilanciata dall'introduzione di funzioni di tipo economico, sociale e culturale che ottemperano alle esigenze organizzative della società.

Tuttavia nei paesi ad economia matura le dinamiche di uso del suolo degli ultimi decenni hanno portato ad un ripensamento del concetto ed in particolare hanno fatto emergere dubbi sul rapporto esistente tra superfici occupate (a fini abitativi, produttivi o infrastrutturali) e benessere della popolazione (EEA, 2006b).

Mentre in passato vi era, infatti, una chiara correlazione tra dinamiche demografiche, livelli di reddito e artificializzazione del suolo per cui le tre dimensioni -popolazione, PIL e superfici urbanizzate tendevano a crescere in modo lineare, più recentemente si è assistito ad un aumento delle superfici artificiali pur in presenza di stagnazione demografica ed economica (Marshall, 2007). Tale disallineamento o "disaccoppiamento" (*decoupling*), secondo l'espressione utilizzata nei documenti europei, è il riflesso dell'evoluzione in senso consumistico del rapporto tra uomo e ambiente per cui la domanda di suolo più che rispondere ai fabbisogni dell'uomo appare oggi come il risultato di scelte politiche che hanno anteposto le ragioni del mercato a quelle ambientali, gli interessi privati di una minoranza a quelli della collettività, i ritorni economici e politici immediati, a visioni strategiche di lungo periodo. Si è in tal modo premiata la rendita urbana, favorendo cambi di destinazione d'uso e forme di espansione dell'edificato aggressive e disordinate, senza di fatto contribuire ad un avanzamento del benessere delle popolazione o assicurare una qualche forma di giustizia sociale[2].

Questo spiega la valenza negativa di cui si è caricato il termine consumo di suolo, valenza che denota l'emergere di una consapevolezza critica[3] verso un modello di sviluppo che utilizza in modo incontrollato e indiscriminato una preziosa risorsa naturale non rinnovabile come il suolo, per generare città slabbrate dallo *sprawl*[4], paesaggi urbani disordinati, dequalificati, porosi, privi di identità e di luoghi di socializzazione, ma pieni di edifici abbandonati o sottoutilizzati (Settis, 2010; Iovino e Bencardino, 2014).

L'attuale congiuntura economica ha reso ancor più evidente l'insostenibilità degli attuali modelli insediativi e l'urgenza di adottare opportune azioni per contrastare il consumo inefficiente e patologico della risorsa suolo-ambiente-paesaggio (Gardi *et al.*, 2013). A tal fine risulta indispensabile pervenire ad una conoscenza approfondita del fenomeno, a partire da una sua puntuale contabilizzazione.

L'adozione di criteri e metodologie di monitoraggio difformi rende, tuttavia, ancora difficile ottenere una misurazione attendibile del consumo di suolo e soprattutto rende difficile la confrontabilità dei dati specie se rilevati a scale geografiche diverse.

1 Il Millennium Ecosystem Assessment del 2005 definisce gli Ecosystem services come "*the benefits people obtain from ecosystems; these include provisioning services such as food and water; regulating services such as regulation of floods, drought, land degradation, and disease; supporting services such as soil formation and nutrient cycling; and cultural services such as recreational and other nonmaterial benefits*". (MEA, 2005). Si tratta di un concetto intrinsecamente antropocentrico, che considera i servizi ambientali come prodotti finali dell'ecosistema a beneficio dell'uomo. Sul concetto di *ecosystem services* si veda anche de Groot *et al.*, 2002.

2 Numerosi contributi hanno messo in evidenza i costi e le diseconomie prodotte da tale modello espansivo. Tra gli altri si vedano Burchfield *et al.* 2006; Camagni, Gibelli e Rigamonti, 2002; Gibelli e Salzano, 2006.

3 L'emergere anche nel nostro paese di una sensibilità diversa verso tale tematica trova conferma nella nascita di associazioni e campagne in difesa del territorio (Stop al consumo di suolo, Salviamo il paesaggio), nelle iniziative e negli studi promossi da grandi organizzazioni impegnate in campo ambientale quali Legambiente (Bianchi e Zanchini, 2011), Fai e WWF Italia (FAI e WWF 2012; WWF Italia 2009, 2013), così come nella creazioni di centri di ricerca ed osservatori specificatamente rivolti ad indagare il fenomeno come il Centro di Ricerche sul Consumo di suolo.

4 Ci si richiama alla definizione proposta dall'European Environmental Agency (2006b, p.6) secondo cui "*urban sprawl is the physical pattern of low density expansion of urban areas under market conditions mainly into the surrounding agricultural areas [...]. Sprawling cities are the opposite of compact cities full of empty spaces that indicate the inefficiency in development and highlight the consequences of uncontrolled growth*".

Un prima questione riguarda i metodi di classificazione del "consumato". In linea generale ogni porzione di territorio sottratta al precedente uso agricolo o naturale rappresenta suolo consumato. Nondimeno, in funzione della destinazione d'uso gli impatti possono essere molto diversi e vanno misurati con differenti approcci. Ad esempio, mentre è innegabile che la copertura del terreno con materiali impermeabili, quali cemento o asfalto, comporti la perdita immediata e senza ritorno delle funzioni ecologiche del suolo, più controverso risulta l'impatto e dunque la classificazione da adottare per porzioni di territorio che hanno subito trasformazioni che non alterano irrimediabilmente la struttura del terreno, come ad esempio i parchi e gli spazi verdi ubicati in ambito urbano o le aree di insediamento di impianti per la produzione energetica o ancora le zone libere intercluse tra snodi di accesso e reti infrastrutturali che, seppure non interessate in modo diretto dall'impermeabilizzazione, risultano compromesse nelle loro valenze paesaggistico-ambientali.

Nell'ambito delle classificazioni proposte ed adottate dall'Unione europea (Prokop et al. 2011; EEA, 2012; EC e JRC, 2012) si distingue tra *soil sealing* e *land take,* ossia tra impermeabilizzazione e artificializzazione del suolo. Nella prima categoria rientrano tutte le porzioni di territorio coperte da asfalto, cemento o altri materiali impermeabili, mentre sono classificabili come suolo artificializzato (o urbanizzato) oltre alle zone impermeabilizzate, anche quelle non "sigillate" ma alterate secondo modalità più o meno invasive come, ad esempio, cave, miniere, discariche, ma anche campi sportivi, serre, giardini, parchi urbani, ecc. Secondo tale metodo classificatorio il suolo impermeabilizzato risulta, dunque, essere una sottocategoria del suolo artificiale e l'impermeabilizzazione "*the most intensive form of land take*" (EC e JRC, 2012, p.19).

Uno schema semplificato per classificare le possibili trasformazioni delle coperture del suolo è quello proposto e descritto dall'Agenzia Ambientale Europea (2006a, p. 49) attraverso l'immagine del triangolo delle transizioni, qui di seguito riportata (fig. 1) nella rielaborazione dell'Osservatorio Nazionali sul Consumo del Suolo (ONCS, 2009), poi divenuto Centro di Ricerca sul Consumo di Suolo (CRCS).

Ai vertici del triangolo si trovano le tre macro-categorie di copertura del suolo (naturale, agricolo, urbano), mentre sui lati "transitano" i possibili cambi di destinazione della copertura, distinti per tipologia (omologa-non omologa) durata (temporanea-permanente) e esito (agricolo-urbano-naturale).

Sulla base delle tre variabili considerate le trasformazioni assumono caratteri diversi e possono pertanto essere diversamente classificate. Ad esempio, il passaggio da una copertura agricola ad una copertura urbana

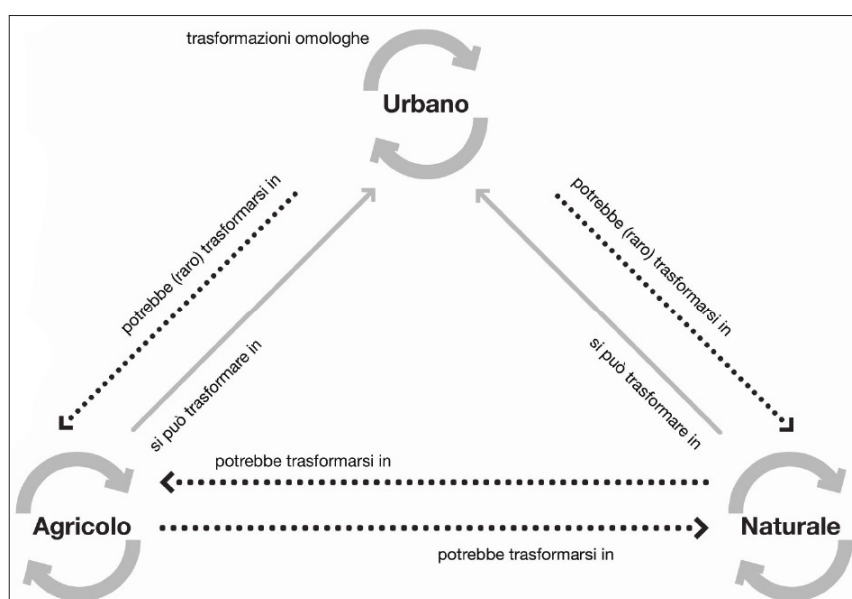



FIGURA 1 – Il triangolo delle transizioni

FONTE: ONCS, 2009

è classificata secondo questo schema come trasformazione non omologa (ovvero che non avviene all'interno della stessa categoria), permanente e artificiale, mentre il passaggio da una copertura naturale ad una agricola sarà catalogabile come trasformazione transitoria, non omologa e semi-naturale. A rigore solo nel primo caso si dovrebbe parlare di consumo del suolo sia per la durata della trasformazione (permanente), sia per gli impatti che ne derivano (Pileri, 2009).

Il triangolo delle transizioni rappresenta come si è detto uno schema assolutamente semplificato che necessita di essere integrato da altre misure quali-quantitative che siano in grado di caratterizzare in maggiore dettaglio i processi di trasformazione del suolo e quindi supportare le scelte di governo del territorio.

Come, infatti, provano diversi studi elaborati a scala europea e in ambito nazionale, negli ultimi decenni non solo si è occupato molto suolo, ma si è consumato suolo di pregio per caratteristiche geofisiche, interesse agronomico, valenze paesaggistiche ed identitarie[5].

È evidente, quindi, che disporre di un quadro informativo completo delle aree agricole e naturali, interne ed esterne al tessuto urbano consolidato (con indicazioni relative a grado di naturalità, valenza agricolo-paesaggistica, vulnerabilità, specificità geologiche, giacitura e rilevanza per le reti ecologiche) può utilmente orientare le scelte programmatorie delle amministrazioni locali indirizzandole verso opzioni trasformative meno gravose in termini di efficienza ambientale[6].

Altrettanto utile per perseguire strategie di riuso e riqualificazione urbana risulterebbe la mappatura del "consumato riutilizzabile" ossia delle aree dismesse o sottoutilizzate, come ben dimostra l'esperienza inglese. A differenza dell'Italia, il Regno Unito, paese nel quale è stata più forte e precoce la diffusione urbana, si è dotato di un database nazionale degli usi del suolo che fornisce a scala locale informazioni sui suoli urbani interessati da dismissione o sottoutilizzati, classificandoli in modo univoco e dando indicazioni per il loro riutilizzo (Homes and Communities Agency, 2014). In prospettiva entrambi gli archivi informativi (suoli liberi e suoli dismessi o sottoutilizzati) potrebbero essere adoperati anche nell'ambito dei meccanismi di tassazione, incentivazione e/o compensazione attualmente allo studio in ambito nazionale per frenare il consumo di suolo.

3. Fonti informative e modalità di rilevazione

Per misurare il consumo del suolo è necessario disporre di basi di dati cartografiche di uso/copertura del suolo, fra loro confrontabili e coerenti, in riferimento almeno a due soglie temporali, così da verificare, mediante una metodologia di comparazione statistica differenziale oppure attraverso una matrice dei flussi (ONCS, 2009; CRCS, 2011), le variazioni d'uso intercorse nell'intervallo di tempo considerato.

In ambito nazionale ed europeo l'offerta di dati di *land cover/land use* è vasta ma estremamente frammentata (tab. 1). Le diversità riguardano il sistema di classificazione, la copertura territoriale e quella temporale, la scala di indagine, il grado di accuratezza delle informazioni, le finalità del rilevamento (ISPRA 2014).

Sulla base delle modalità di rilevazione e elaborazione dei dati possiamo suddividere le principali fonti informative in tre grandi categorie:

a) banche dati prodotte mediante analisi di immagini satellitari;
b) banche dati che utilizzano un approccio statistico-campionario;
c) banche dati di tipo tecnico (a scala regionale e locale).

Le banche dati derivanti da rilevazioni satellitari, utilizzano una tecnologia relativamente moderna che ha il vantaggio di poter raccogliere informazioni pienamente omogenee e confrontabili per ampie estensioni di territorio. Di contro l'utilizzo di unità minime di rilevazione (*Minimum Mapping Unit*, MMU) piuttosto ampie riduce

---

5 In Italia è emblematico il caso delle aree costiere di particolare pregio ambientale e paesistico sottoposte a vincolo ai sensi della Legge Galasso (n.431/1985) recepita dal più recente Codice dei beni culturali e del paesaggio (D.Lgs n. 42/2004). Secondo l'ISTAT queste aree sono state interessate nel periodo 1981-2001 da un incremento della densità dell'edificato del 23,6% contro un dato medio nazionale di 0,8% (Baldacci e Sabbadini, 2013).

6 Da tempo il Centro di Ricerca sui Consumi del Suolo (CRCS 2011; 2012) sostiene la necessità di predisporre uno strumento di contabilità comunale dell'uso del suolo e delle disponibilità di superfici non urbanizzate. In particolare si vedano i contributi di Arcidiacono e Pareglio contenuti nel rapporto 2012.

TABELLA 1 – Le principali banche dati sugli usi/coperture del suolo

BANCHE DATI	gestore	copertura territoriale	scala / risoluzione/ n. campioni	formato	unità minima di rilevazione	copertura temporale	tipo di classificazione (per aree artificiali o impermeabilizzate)
Corine Land Cover (CLC)	EEA (ISPRA in Italia)	europea	1:100.000	vettoriale	25 ha (copertura) 5 ha (cambiamenti)	1990-2000-2006 2012 (in corso)	11 classi miste di uso e copertura per le aree artificiali
Copernicus/GMES High Risolution Layer (HRL) Imperviousness	EEA (ISPRA in Italia)	europea	20 m x 20 m	raster	400 m^2	2006-2009 2012 (in corso)	% soil sealing (0-100%)
Copernicus-GMES Urban Atlas	EEA (ISPRA in Italia)	europea (Large urban zone)	1:10.000	vettoriale	2500 m^2	2006 2012 (in corso)	17 classi miste di uso e copertura per le aree artificiali
LUCAS	Eurostat	europea	270.389 punti (2012)	vettoriale	30 m^2	2003-2006-2009 2012 (in corso)	5 classi di copertura per le aree artificiali e oltre 20 classi di uso
Rete Nazionale di Monitoraggio sul consumo di suolo	ISPRA ARPA-APPA	nazionale	150.000 punti	vettoriale	1 m^2	1956-1988-1996 1998-2006-2008 2010	13 classi di copertura; Aree consumate (0-1)
IUTI	Ministero Ambiente (MATTM) -ISPRA	nazionale	1.206.000 punti	vettoriale	5.000 m^2	1990-2000-2008	2 classi di uso del suolo per le aree artificiali
POPULUS	Agenzia Erogazioni Agricoltura (AGEA)	Nazionale	1.206.536 punti	vettoriale	30 m^2	1999-2004-2009	10 classi di uso per le aree artificiali
AGRIT	Ministero Politiche Agricole (MiPAAF)	56% della superficie nazionale	55.000 punti (2004)	vettoriale	30 m^2	2004-2013	10 classi di uso per le aree artificiali
INFC	Corpo forestale	nazionale	301.306 punti	vettoriale	1 km^2	1985-2005 2015 (in corso)	1 macro-classe di copertura per le aree artificiali
Basi territoriali di censimento	ISTAT	nazionale	1:10.000	vettoriale	sezioni censuarie di dimensioni variabili	dal 1951 ogni 10 anni (non del tutto confrontabili)	centri abitati, nuclei abitati, località produttive
Carte tecniche regionali	Regioni	regionale	1:10.00/ 1:25.000	vettoriale	1.600/10.000 m^2	variabile	generalmente si usa la classificazione CLC al IV e V livello

FONTE: ISPRA, 2014 (parzialmente modificato)

il grado di finezza e di dettaglio dei dati e determina eccessive semplificazioni e approssimazioni.

Sono generalmente sottostimate le dimensioni di tutte le classi con una distribuzione frammentata o parcellizzata (non sono rilevate, ad esempio le aree impermeabili o urbanizzate di estensione inferiore o vicina alla minima unità di rilevamento) e quelle lineari (come le infrastrutture di trasporto). Non adeguatamente rappresentata risulta anche la compresenza di più usi/ coperture del suolo all'interno di ciascuna unità di rilevamento: si ricorre, infatti, al principio dell'uso prevalente, considerando di fatto omogenee all'interno di ogni unità minima di rilevamento classi di uso/copertura del suolo diverse.

Insoddisfacente risulta anche l'adozione di un sistema di classificazione misto, in cui le classi si riferiscono alla copertura del suolo ma contengono anche elementi d'uso. Come è noto, infatti, uso e copertura forniscono informazioni territoriali diverse. La copertura caratterizza il suolo in base a ciò che effettivamente è presente sulla sua superficie (evidenze bio-fisiche), l'uso in base al fine per il quale le risorse sono utilizzate dall'uo-

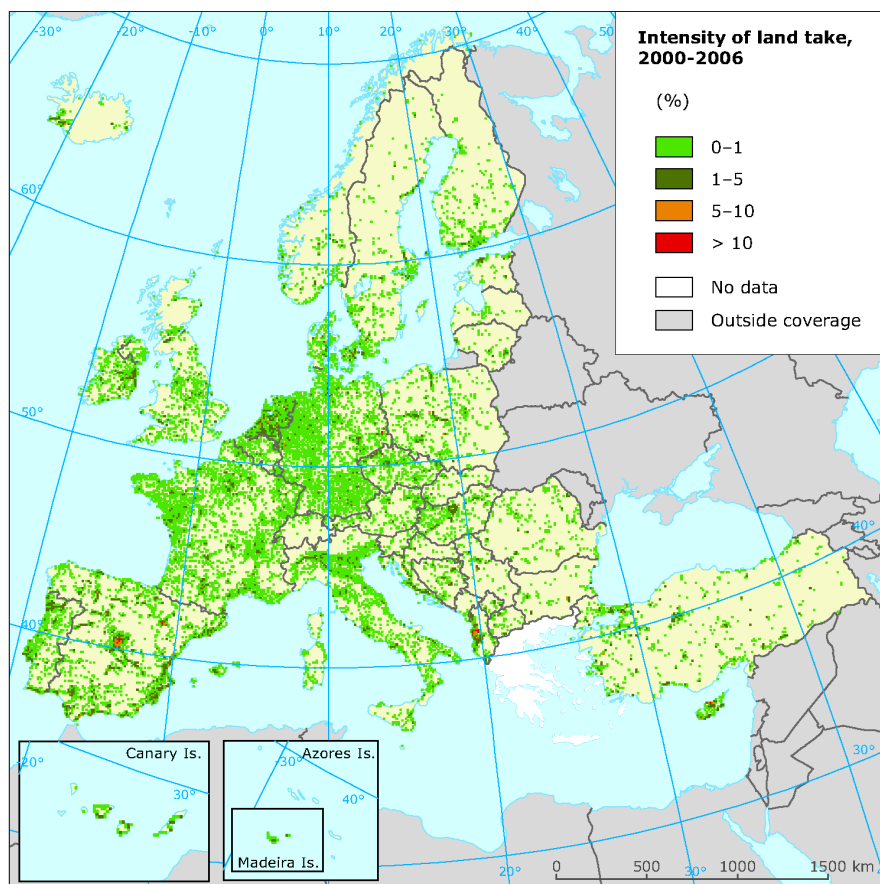



FIGURA 2
L'artificializzazione del suolo in Europa tra il 2000 e il 2006

FONTE: CLC, 2006

mo (funzioni socio-economiche). Da un punto di vista tecnico-operativo, risulta evidente che, mentre i dati di copertura possono essere adeguatamente registrati per acquisizione aerea o satellitare, le informazioni d'uso lo sono in minima parte.

Un altro limite dei data set provenienti da satellite deriva dall'impossibilità di disporre di serie storiche molto lunghe, in quanto tale sistema di rilevazione, sperimentato negli anni Settanta (risale al 1972 il lancio del primo satellite, il *Landsat*), ha trovato un'applicazione sistematica in ambito europeo solo a partire dagli anni Novanta, con il programma CORINE (*COoRdination of Information on the Environment*), lanciato dal Consiglio Europeo per disporre di un quadro macroscopico ed omogeneo dello stato dell'ambiente nell'area comunitaria.

Corine Land Cover (CLC) è uno dei quattro progetti in cui è articolato il programma. Si tratta di una rilevazione satellitare foto-interpretata della copertura del suolo che restituisce una cartografia digitale in scala 1:100.000 in formato vettoriale (fig. 2).

Il primo rilevamento risale al 1986 con un intervento pilota in Portogallo, da allora sono stati effettuati tre rilevamenti rispettivamente nel 1990, nel 2000 e nel 2006. L'unità minima mappata è di 25 ettari (rappresentata in un quadrato di 5 mm di lato), di 5 ha per *Corine Land Cover Change* dove sono riportate le trasformazioni nella copertura del suolo tra due periodi (1990-2000 e 2000-2006). Il sistema di classificazione *CLC* è articolato in tre livelli gerarchici a dettaglio crescente (tab. 2): 5 classi al primo livello (superfici artificiali, superfici agricole utilizzate, territori boscati e ambienti semi-naturali, zone umide, corpi idrici), 15 classi al secondo livello e 44 al terzo (EEA, 2007). Un quarto livello è stato sviluppato in alcuni paesi, tra cui l'Italia (dall'ISPRA), per fornire maggior dettaglio in alcune classi tematiche (Maricchiolo *et al.* 2005).

TABELLA 2 – Nomenclatura CLC per le aree artificiali

LIVELLO 1	LIVELLO 2	LIVELLO 3
1 Superfici artificiali	1.1 Tessuto urbano	111-Tessuto urbano continuo
		112-Tessuto urbano discontinuo
	1.2 Unità industriali commerciali e di trasporto	121-Unità industriali o commerciali
		122-Reti stradali ferroviarie e infrastrutture tecniche
		123-Aree portuali
		124-Aeroporti
	1.3 Miniere, discariche e luoghi di costruzione	131-Aree estrattive
		132-Discariche
		133-Cantieri
	1.4 Aree con vegetazione artificiale	141-Aree verdi urbane
		142-Aree per lo sport e il tempo libero

FONTE: CLC, 2006

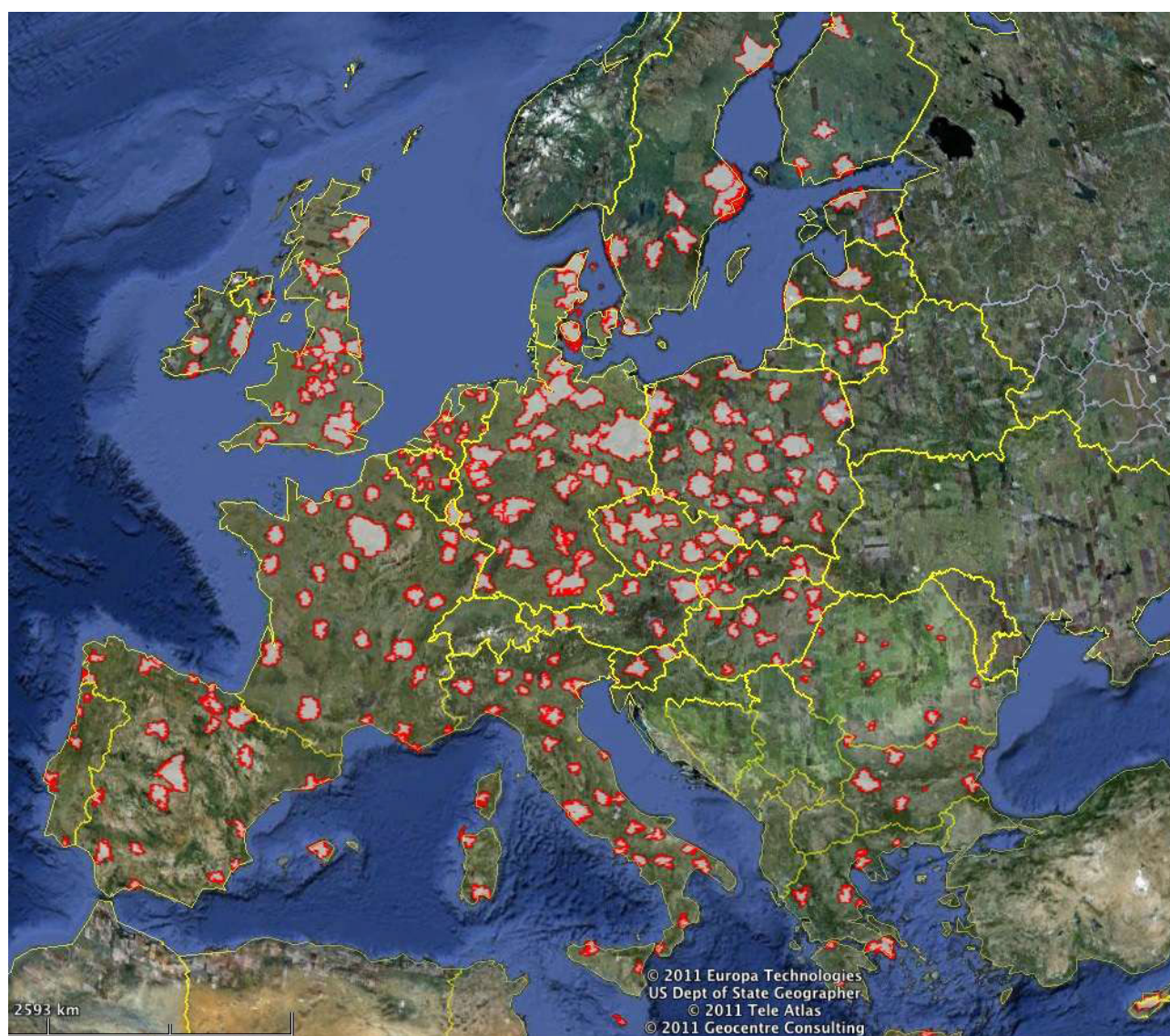
L'utilizzo di un sistema di classificazione misto (uso e copertura) e la bassa risoluzione di CLC (legata alla scala nominale e all'unità minima di rilevamento) non permettono di ottenere un elevato dettaglio informativo, il chè significa che tale sorgente di dati non si presta ad analisi a scala locale, ma può essere vantaggiosamente adoperata per confronti tra i diversi paesi europei.

In ambito europeo oltre Corine Land Cover vi sono altre due banche dati prodotte mediante fotointerpretazione di dati satellitari *Imperviusness HRL* e *Urban Atlas*. Entrambi i database rientrano nel programma *Copernicus*, già noto come GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*), promosso nel 1998 e coordinato dall'Agenzia Ambientale Europea (EEA, 2011). *Copernicus* fornisce servizi informativi derivanti dall'utilizzo congiunto di dati satellitari (forniti dall'Agenzia Spaziale europea, l'ESA) e rilevazioni *in situ* (forniti dall'EEA, utilizzando sensori di terra, aria e acqua) relativamente a sei aree tematiche: *Land Monitoring, Marine Monitoring, Atmosfhere Monitoring, Emergency Management, Security and Climate Change*. Il servizio di *Land Monitoring* comprende una componente globale, una componente paneuropea (in cui rientra HRL I*mperviusness*) e una componente locale (in cui rientra *Urban Atlas*)[7].

La componente paneuropea fornisce dati sui cambiamenti di copertura del suolo tra il 2006 e il 2009 (è in corso I*mperviusness Change* 2006-2012) e il *land cover* 2006-2009-2012 per i 32 paesi membri dell'EEA più sei paesi balcanici. Il dataset è organizzato in 5 *layers* ad alta risoluzione (20 m), di cui il primo (*Imperviusness HRL*) rappresenta in formato raster le *built-up areas*, come vengono chiamate le aree caratterizzate da copertura artificiale di lunga durata (gli altri *layers* riguardano le foreste, le aree agricole, le zone umide e i corpi idrici). Il grado di *imperviusness* o *soil sealing* è espresso in valori percentuali (0-100%) e nelle *built-up areas* presenta generalmente valori compresi tra l'80 e il 100%.

Il progetto *Urban Atlas*, che rientra nella componente locale ed è pubblicato dall'Agenzia Europea per

7 Per un approfondimento sui servizi Copernicus/GMES per la valutazione del consumo del suolo a scala nazionale si rimanda a Marinosci, 2013.

FIGURA 3 – Le *Large Urban Zone* di Urban Atlas

FONTE: Urban Atlas

l'Ambiente (EC, 2011), fornisce informazioni di copertura/uso del suolo per 305 agglomerati urbani europei (fig 3.), le *Large Urban Zone* (secondo la definizione di *Urban Audit*) con oltre 100.000 abitanti (32 in Italia).

Il prodotto finale, derivante dall'uso combinato di dati satellitari ad altissima risoluzione (0,25 ha) aggiornati al 2006 e di dati cartografici ausiliari (ad esempio CTR, ortofoto) consiste in una carta di uso del suolo in formato vettoriale in scala 1:10.000 con nomenclatura del tipo *Corine* LC approfondita al 4° livello per le classi artificiali e al 2° livello per le classi naturali per un totale di 32 categorie di copertura e uso del suolo, di cui 20 per le aree artificiali. Il tessuto urbano è classificato sulla base della densità del suolo impermeabilizzato, mentre altre classi di aree artificiali riguardano l'edificato disperso, le aree produttive, commerciali, o militari, le infrastrutture, il verde urbano, le attrezzature.

In alternativa agli approcci cartografici basati su analisi e classificazioni di immagini satellitari vi sono le banche dati prodotte mediante tecniche di campiona-

TABELLA 3 – Nomenclatura LUCAS per la copertura delle aree artificiali

LIVELLO 1	LIVELLO 2	LIVELLO 3
A00 ARTIFICIAL LAND	A10 BUILT-UP AREAS	A11 Buildings with one to three floors
		A12 Buildings with more than three floors
		A13 Greenhouses
	A20 ARTIFICIAL NON-BUILT UP AREAS	A21 Non built-up area features
		A22 Non built-up linear features

FONTE: LUCAS, 2009

mento (generalmente a griglia o stratificato). Le aree e i punti selezionati mediante tecniche di campionamento sono studiati sulla base di campagne di monitoraggio *in situ* e/o di fotointerpretazioni a video di immagini aeree o satellitari ad alta definizione.

L'affidabilità dei risultati è ovviamente correlata alla numerosità e rappresentatività del campione, ma generalmente tale tecnica fornisce dati con attendibilità definita e accettabile della stima e ha indubbie caratteristiche di rapidità e duttilità nel consentire rilevamenti integrati di uso/copertura del suolo (Munafò e Ferrara, 2012). Non si può, tuttavia, ottenere una mappatura del fenomeno, in quanto essendo l'uso del suolo un processo discontinuo (in particolare i processi di artificializzazione tendono a essere fortemente concentrati in alcune aree e lungo alcune direttrici) è difficilmente modellizzabile e le tecniche di interpolazione geostatistiche danno risultati insoddisfacenti([8]).

In altre parole, mentre le banche dati derivanti da rilevamento satellitare sono più indicate a misurare il "dove", ossia a fornire informazioni sulla distribuzione territoriale degli usi del suolo, le banche dati con approccio statistico-campionario si prestano meglio a misurare il "quanto", ossia l'entità complessiva del consumato. È, quindi, comprensibile come le due metodologie richiederebbero di essere integrate per una valutazione esaustiva del fenomeno "consumo di suolo" nelle sue diverse componenti.

Tra le banche dati con approccio statistico campionario vi è il progetto LUCAS (*Land Use and Cover Area frame Survey*), finalizzato a raccogliere dati relativi alla copertura e uso del suolo, paesaggio e biodiversità a supporto delle politiche agricole e ambientali dell'Unione Europea. L'indagine, gestita dall'Eurostat ed effettuata ogni tre anni a partire dal 2003, prevede due fasi: la prima relativa alla selezione dei punti campione, la seconda di rilevazione *in situ* (Eurostat, 2009, 2013). Ciascuno punto di campionamento (di 30 m^2) viene fotografato e classificato secondo una nomenclatura armonizzata articolata in tre livelli gerarchici e 95 classi per le informazioni di copertura (tab. 3), due livelli gerarchici e 49 classi per i dati di uso.

Sino al 2009 il monitoraggio ha riguardato 15 stati membri, mentre nel 2012 ha coinvolto tutti i 27 paesi comunitari per un totale di 270.389 punti campione (poco più di 21.000 per l'Italia). Considerata la ridotta numerosità del campione utilizzato, LUCAS è adeguato a fornire stime attendibili a scala nazionale, ma risulta poco adatto per approfondimenti a scala locale.

In Italia la *Rete di monitoraggio del consumo di suolo* dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, in collaborazione con il Sistema di Agenzie regionali e provinciali per la protezione ambientale, ha sviluppato una metodologia di rilevazione di tipo misto (ISPRA, 2014; Munafò *et al.*, 2013; Baiocco *et al.*, 2013), in quanto integra i dati locali derivanti da fotointerpretazione di punti campione con dati telerilevati ad

8 Come è stato osservato (Munafò e Ferrara, 2012), alcune banche dati di tipo campionario come POPOLUS o IUTI utilizzano anche l'unità minima di rilevazione "con il risultato di dover sommare (al fine della derivazione di indicatori) le due fonti di errore: quella campionaria e quella cartografica".

alta risoluzione, con particolare riferimento al servizio informativo *Copernicus* HRL *Imperviusness*, realizzato da Planetek Italia nell'ambito del progetto *Geoland 2* (fig 4).

Utilizzando un campionamento stratificato su tre livelli (nazionale, regionale e comunale) molto esteso (150.000 punti distribuiti sull'intero territorio nazionale) ed una unità minima di rilevazione di 1 m^2, la rete di monitoraggio dell'ISPRA riesce ad arrivare ad un livello di dettaglio molto più elevato rispetto a LUCAS e quindi consente di "leggere" anche le superfici artificiali di dimensione ridotta disperse sul territorio. L'indagine, svolta su soglie multi-temporali, permette di ricostruire l'andamento del consumo di suolo dal 1956 ad oggi, a scala nazionale e regionale, con analisi e approfondimenti a scala locale[9]. Una stima sufficientemente accurata del consumato a livello comunale per l'intero territorio nazionale la si ottiene unicamente per l'impermeabilizzazione del suolo, attraverso un'integrazione dell'HRL Imperviusness di Copernicus e l'analisi puntuale svolta dall'ISPRA (fig. 4).

Oltre alla rete di monitoraggio dell'ISPRA, l'unica specificatamente dedicata al consumo di suolo, vi sono in Italia diverse banche dati prodotte mediante campionamento di punti ed aeree, che hanno il vantaggio di una elevata precisione e affidabilità statistica, ma che, essendo finalizzate a specifiche esigenze conoscitive, si concentrano su particolari tematismi e utilizzano risoluzioni, intervalli temporali e sistemi di classificazione non sempre adatti a monitorare il consumo del suolo.

La rilevazione IUTI (Inventario dell'Uso delle Terre d'Italia), ad esempio, è realizzata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) per monitorare i cambiamenti della copertura forestale e dell'uso del suolo in Italia con un focus particolare sulle informazioni utili ai fini del Registro Nazionale dei serbatoi di carbonio forestale istituito nel 2007. I tre rilevamenti finora condotti hanno avuto una scansione quasi decennale (1990, 2000, 2008), ma è attualmente in corso un quarto rilevamento basato su un campionamento di 1.206.000 punti, classificati a video per interpretazione diacronica di ortofoto. La numerosità del campionamento assicura una contabilità del suolo abbastanza attendibile a scala nazionale e regionale ma non a scala locale, in quanto il sistema di nomenclatura adottato è piuttosto semplificato (10 categorie di cui solo 2 riferite ad aree artificiali) e riferito a classi d'uso omogenee o prevalenti di almeno 0.5 ha (Marchetti *et al.*, 2012).

Tale sistema classificatorio è conforme a quello utilizzato dall'Inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi di carbonio (INFC), che rappresenta la principale base informativa per la redazione del Registro. L'indagine INFC, realizzata e gestita dal Corpo Forestale dello Stato, utilizza un campionamento a griglia di oltre 300.000 punti, che dopo una prima fase di fotointerpretazione a video sono classificati in 5 macroclassi di copertura (che riprendono il sistema di nomenclatura Corine) e due macrocategorie inventariali (boschi ed arbusti) (Gasparini e Tabacchi, 2011). Successivamente le unità di campionamento delle due macrocategorie inventariali sono verificate sul campo e classificate secondo un sistema gerarchico articolato in 8 categorie inventariali, 23 categorie forestali e ben 91 sottocategorie forestali.

Sono finalizzati al controllo delle attività agricole i progetti AGRIT e POPOLUS. Il primo avviato nel 1988 dal Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (MiPAAF) si è basato sino al 2000 su un campionamento per aree (550 aree di 50 ha). Nel 2001 si è introdotto un campionamento per punti (55.000 punti, quasi esclusivamente di tipo agricolo), i quali, dopo una prima fase di fotointerpretazione (sulla matrice POPOLUS), sono verificati sul campo e classificati mediante un sistema a due livelli gerarchici e 86 classi, di cui 59 particolarmente dettagliate per le superfici agricole (solo 10 per le aree artificiali). POPOLUS (*Permanent Observed POints for Land Use Statistics*) è un progetto gestito dall'Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura (AGEA), che, come si è detto, funge da base di campionamento del *frame* di rilevazione AGRIT. Esso è basato su una maglia simile ma non coincidente con quella dello IUTI: 1.206.536 punti, classificati in 25 classi, di cui 10 per le aree artificiali.

Le banche dati prodotte mediante campionamento di punti ed aree, come si è detto, denunciano chiari limiti

9 A livello locale l'ISPRA (2012, 2013) fornisce informazioni d'uso del suolo per 43 città (SLL), nell'ambito del Rapporto sulla qualità dell'ambiente urbano e dell'Annuario dei dati ambientali. Per questa tipologia di dati sono utilizzati anche carte topografiche storiche e aero-fotogrammetrie.

in termini di spazializzazione del fenomeno. Per analisi di dettaglio che siano utilizzabili a fini pianificatori è necessario ricorrere alla cartografia tecnica a grande e media scala prodotta mediante fotointerpretazione di immagini aero-fotogrammetriche e rilevazione diretta. Rientrano in questa categoria le carte topografiche, le carte tecniche regionali, le carte regionali dell'uso del suolo, il catasto comunale, ecc. Il loro punto di forza è

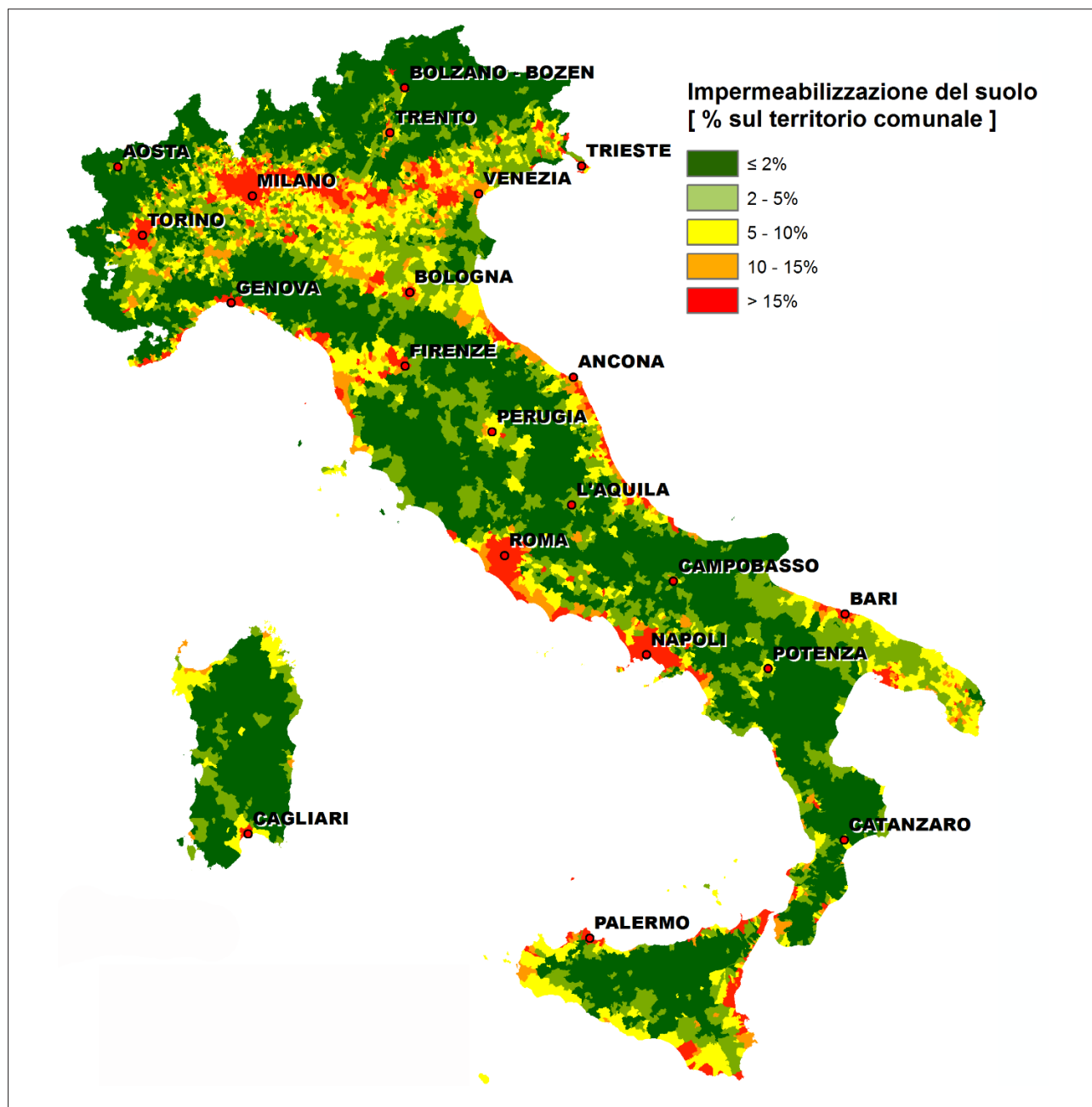
FIGURA 4 – L'impermeabilizzazione del suolo in Italia nel 2009 secondo l'ISPRA

FONTE: elaborazioni Ispra su dati Copernicus

TABELLA 4 – Le stime del consumo di suolo in Italia

Banca dati	% suolo consumato	anno
Corine Land Cover (EEA-ISPRA)	4,9%	2006
Copernicus -High Resolution Layer Imperviousness (EEA-ISPRA)	4,3%	2009
LUCAS (Eurostat)	7,8%	2012
Rete di monitoraggio del consumo di suolo (ISPRA-ARPA-APPA)		
IUTI (MATTM)	7,1%	2008
POPOLUS (MiPAAF)	8,8%	2009
Basi territoriali (ISTAT)	6,7%	2011

FONTE: nostra elaborazione

costituito dalla ricchezza e affidabilità dei dati che possono essere estremamente dettagliati fino ad arrivare alla scala del singolo edificio. Di contro si riferiscono a porzioni limitate di territorio, difficilmente hanno una cadenza temporale regolare e soprattutto mancano di una metodologia classificatoria standardizzata che permetta la confrontabilità a differenti scale[10].

Un caso a parte è rappresentato dalle basi territoriali dell'ISTAT, suddivisioni sub-comunali (circa 402.000 sezioni di censimento e oltre 61.000 Località abitate nel 2011) che coprono l'intero territorio nazionale (ISTAT, 2009). Realizzate a partire dal 1951 per organizzare i lavori di rilevazione dei dati dei censimenti (Popolazione e Abitazioni, Industria e Servizi, Agricoltura) le basi territoriali, come è noto, sono aggiornate ogni 10 anni. Dal disegno delle unità minime di rilevamento (sezioni di censimento) che avviene mediante fotointerpretazione di foto aree, dipende il carico di lavoro di ciascun rilevatore. Ciò spiega perché la loro estensione territoriale sia correlata alla distribuzione della popolazione (a maglie ridotte nelle aree urbane rispetto a quelle rurali) e perché si sia ritenuto utile classificarle per tipologia insediativa, per cui si distingue tra Località abitate (tra cui rientrano Centri Abitati, Nuclei Abitati e Case Sparse) e Località produttive extraurbane[11].

Le basi territoriali, dette anche piani topografici comunali, e le informazioni statistiche che è possibile agganciare ad esse rappresentano un patrimonio informativo straordinario, utilizzabile per ricostruire la storia dell'urbanizzazione italiana e dunque per ricavare informazioni sulle caratteristiche di uso del suolo ad un dettaglio territoriale molto fine (Cruciani *et al.*, 2012; Giovannini, 2012). Il principale limite di tale tipologia di rilevazione ai fini del consumo di suolo risiede nel

10 Un interessante progetto di standardizzazione delle banche dati regionali è stato avviato nel 2008 dal Gruppo di lavoro "Uso del suolo" del Comitato permanente sistemi geografici del Centro Interregionale per i sistemi informativi geografici e statistici (CISIS). Per un approfondimento sul tema si rimanda al sito http://www.centrointerregionale-gis.it/USO_SUOLO/generale_uds.asp

11 Secondo il glossario ISTAT le Località abitate sono aree, conosciute con un nome proprio su cui sono presenti Case sparse o raggruppate in Centri abitati e Nuclei abitati. I *Centri abitati* sono aggregati di case contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, o comunque brevi soluzioni di continuità, caratterizzati dall'esistenza di servizi od esercizi pubblici costituenti la condizione di una forma autonoma di vita sociale caratterizzati dalla presenza di case contigue; i *Nuclei abitati* sono costituiti da un gruppo di case contigue e vicine, con almeno cinque famiglie, con interposte strade, sentieri, piazze, aie, piccoli orti, e simili, purché l'intervallo tra casa e casa non superi 30 metri e sia in ogni modo inferiore a quello intercorrente tra il nucleo stesso e la più vicina delle case manifestamente sparse; le *Case sparse* sono quelle disseminate nel territorio comunale a distanza tale tra loro da non poter costituire nemmeno un nucleo abitato. Le L*ocalità produttive*, introdotte nel 2001, sono aree in ambito extraurbano con una superficie minima di 5 ha, non comprese nei centri o nuclei abitati, che abbiano almeno 11 unità locali (o dove il totale di addetti sia superiore a 200), contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, o comunque brevi soluzioni di continuità non superiori ai 200 metri.

grado di approssimazione dei dati. L'estensione dell'urbanizzato viene, infatti, misurata perimetrando le Località abitate (Centri e Nuclei) e produttive, ossia tracciando delle linee che corrono lungo il limite esterno degli edifici posti ai bordi di un raggruppamento di almeno quindici fabbricati o lungo elementi lineari, quali infrastrutture di trasporto o limiti idrografici. Sono pertanto contabilizzate come urbanizzate (e dunque "consumate") le aree verdi, i giardini o i campi sportivi all'interno delle località abitate, mentre sfuggono totalmente alla rilevazione le Case sparse, insediamenti che, sempre secondo Istat, accoglierebbero circa il 6% della popolazione nazionale (oltre 3.400.000 abitanti), così come le superfici infrastrutturate extraurbane e quelle antropizzate ma non edificate (per esempio, i suoli compromessi da attività di cava o discarica), il ché significa non riuscire a cogliere pienamente i fenomeni di dispersione insediativa che già da qualche decennio rappresentano la principale causa di consumo di suolo nel nostro paese (Bonora, 2013).

La tabella 4, mostra con riferimento all'Italia, le stime del consumo del suolo, elaborate dai principali Enti o Istituti che svolgono attività di monitoraggio sugli usi/coperture del suolo. Come si vede l'utilizzo di metodologie di misurazione diverse per copertura temporale, tecniche di acquisizione dei dati, unità minima di rilevamento e sistemi di classificazione genera una notevole variabilità di risultati.

Tale variabilità risalta con grande chiarezza dal confronto delle carte qui di seguito riportate che rappresentano Napoli e un'ampia porzione del territorio provinciale.

Le mappe sono tratte dall'applicativo *on line* sviluppato da *Copernicus Land Monitoring Land Services*, ma sono realizzate a partire da tre diversi database: la prima carta deriva da *Copernicus HRL Imperviousness* 2012 (fig. 5), la seconda da *Corine Land Cover* 2006

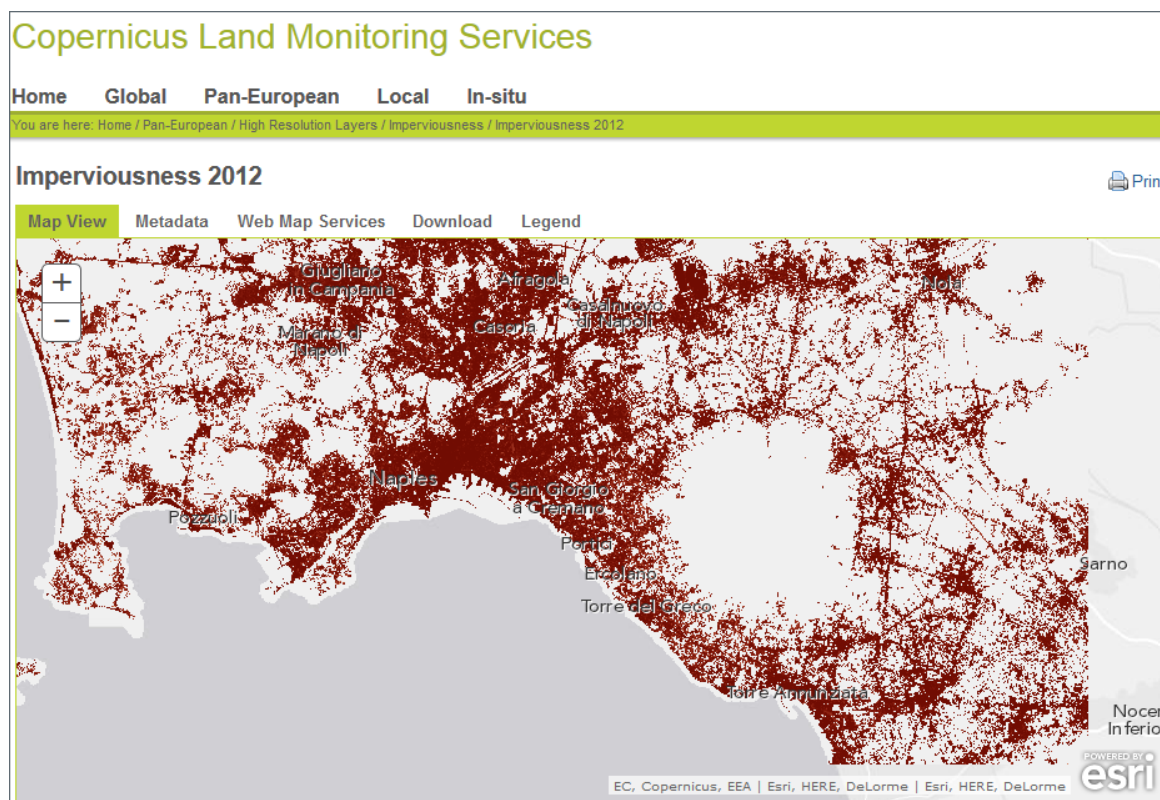
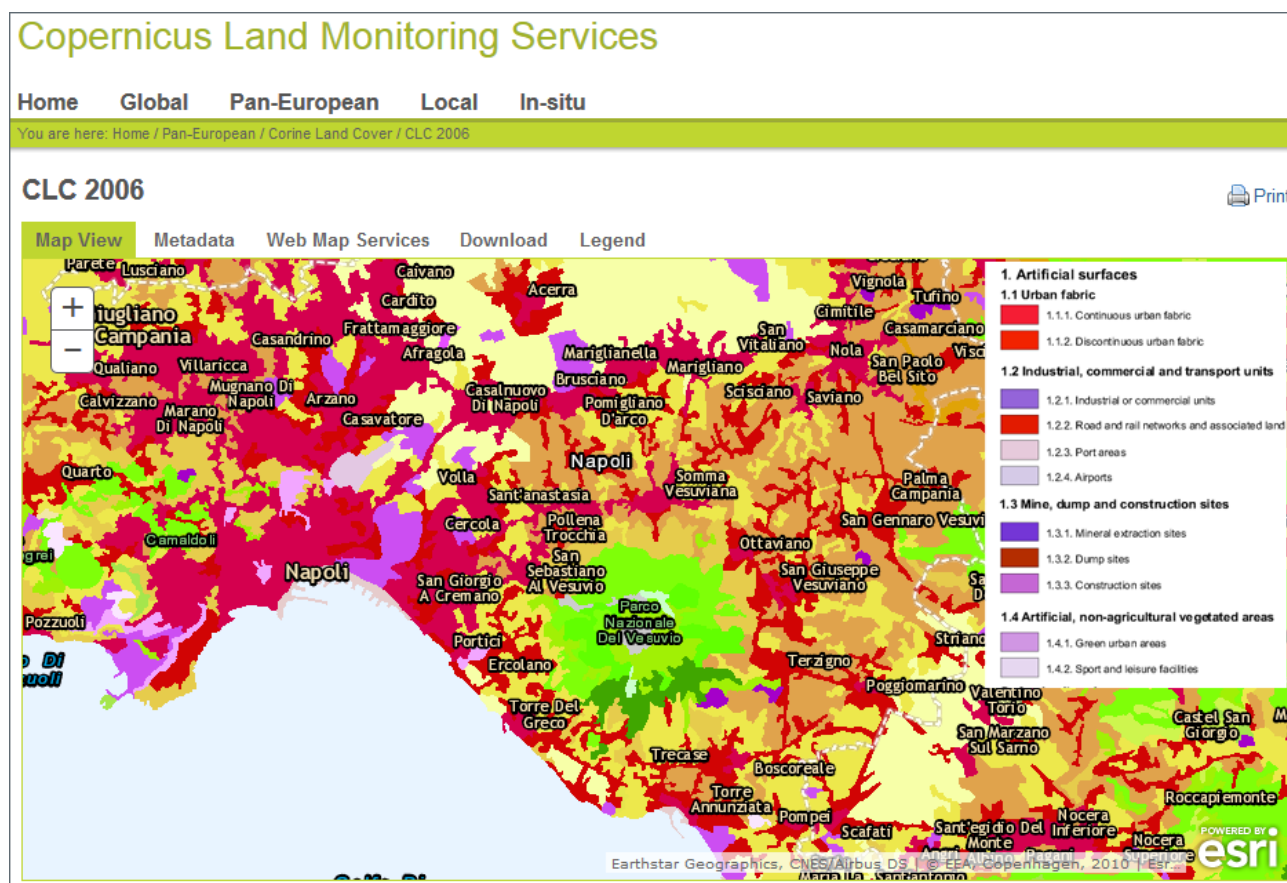
FIGURA 5 – Un esempio di carta dell'impermeabilizzazione del suolo derivante da dati *Copernicus HRL Imperviusness*

FONTE: Copernicus, Land Monitoring Land

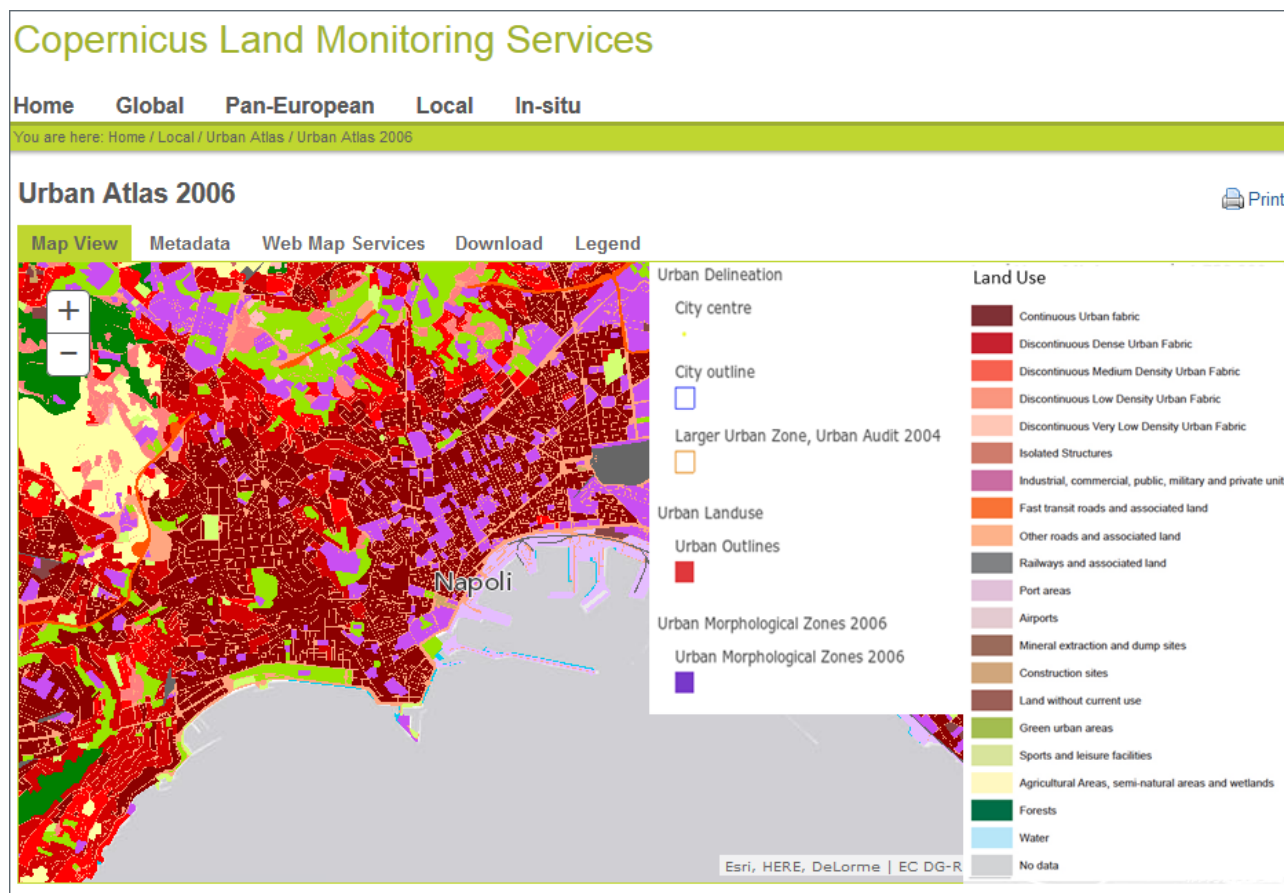
FIGURA 6 – Un esempio di carta dell'uso/copertura del suolo derivante da dati *Corine Land Cover*

FONTE: Copernicus, Land Monitoring Land

(fig. 6) e la terza dalla componente locale di *Copernicus*, ossia da *Urban Atlas* (2006) fig. 7).

Si evince chiaramente il diverso dettaglio informativo delle carte e il diverso grado di accuratezza tematica. La mappa di *Urban Atlas* per la metodologia di rilevamento utilizzata – grande scala, unità minima di rilevazione ridotta, sistema di classificazione articolato in ben 32 classi di copertura ed uso del suolo – è quella che riesce a fornire il dettaglio informativo maggiore. Viceversa, la carta derivante dai dati CLC risulta la più approssimata e quindi la meno adatta per analisi di dettaglio e ciò non solo a causa della scala cartografica troppo piccola o della MMU troppo grande, ma anche per l'utilizzo di classi di uso scarsamente omogenee dal punto di vista del consumo di suolo.

Ben più precisa risulta, infine, la restituzione cartografica derivante dal *Layer* ad alta risoluzione *Imperviousness* di *Copernicus*, sebbene, come si è detto, il dato monitorato riguardi unicamente le aree impermeabilizzate o *built up areas*.

Ovviamente di contro, mentre la banca dati CLC può utilmente essere adoperata per una mappatura completa del territorio nazionale omogenea e confrontabile a livello europeo, ciò non è possibile né per HRL *Imperviousness* che, seppure caratterizzato da un'elevata risoluzione, non fornisce informazioni sugli usi del suolo (indica solo il grado di impermeabilizzazione), né tantomeno per *Urban Atlas* che ha senza dubbio un'elevata accuratezza tematica, ma è disponibile solo per le principali aree urbane italiane ed europee.

FIGURA 7 – Un esempio di carta degli usi del suolo derivante da dati *Copernicus Urban Atlas*

FONTE: Copernicus, Land Monitoring Land

4. Conclusioni

L'analisi svolta mostra come le diverse fonti informative presenti a scala europea e nazionale misurino, in modo diverso, "oggetti" diversi. Di qui l'esigenza sempre più avvertita in ambito comunitario, così come a scala nazionale, di avviare un percorso di standardizzazione ed integrazione dei sistemi di rilevamento e classificazione. È questo l'obiettivo del progetto *Itali* (*Integration of Territorial And Land cover/use Information*), sviluppato nell'ambito di *Grant Lucas* iniziativa europea promossa dall'Eurostat, per mettere in rete tutti gli enti impegnati nel monitoraggio del suolo, con l'obiettivo di armonizzare le diverse statistiche e metodologie presenti all'interno di ciascuno Stato membro e, in prospettiva, integrarle con l'indagine europea LUCAS[12].

Nondimeno, l'esistenza di una pluralità di sorgenti informative, non deve essere necessariamente percepita come un elemento di debolezza, ma in taluni casi il confronto tra banche dati, nate per scopi diversi, può consentire di descrivere ed interpretare in modo più

12 Attualmente in Italia sono stati avviati degli studi pilota "on the provision of harmonized land use/land cover statistics (synergies between LUCAS and the Italian national systems)", finanziati dal *Grant* e coordinati dall'ISTAT (Ferrara, 2012, 2013). Vi partecipano l'ISPRA, l'INEA (Istituto Nazionale di Economia Agraria), il Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali, con il supporto del Sistema Informativo Nazionale (SIN) per lo sviluppo dell'agricoltura.

esaustivo le dinamiche del consumo del suolo, fenomeno di per se complesso che presenta una multiformità di sfaccettature, generato da processi di natura diversa e generante effetti di natura diversa.

In altre parole, la varietà di fonti disponibili può trasformarsi in un elemento di forza allorché venga utilizzata per ottenere un quadro più articolato del fenomeno o per approfondire la conoscenza su problematiche specifiche relative al consumo di suolo, scegliendo di volta in volta le fonti più adatte alla scale territoriale d'indagine e alle sue finalità.

Ad esempio, se lo scopo dell'indagine è quello di ottenere il disegno distributivo delle superfici urbanizzate a scala continentale o quello di effettuare confronti tra le macro-tendenze spaziali di uso del suolo nei diversi paesi europei è preferibile utilizzare dati telerilevati. Si privilegerà, invece, un approccio campionario per indagini finalizzate a produrre statistiche comparabili sulle superfici o su specifici indicatori (ad esempio, suolo urbanizzato pro-capite). Per analisi di dettaglio finalizzate a supportare scelte di governo del territorio, senza dubbio, la strada migliore resta quella di utilizzare un approccio misto, capace di integrare, mediante una tecnologia GIS, informazioni georeferenziabili provenienti da diversi dataset, così da ottenere una rappresentazione quanto più possibile completa del territorio e dei processi di trasformazione del suolo, sia nella loro dimensione geografico spaziale che dal punto di vista quantitativo.

Un'esperienza importante in questa direzione è quella maturata in Lombardia (Regione Lombardia, 2011; CRS, 2012). La Regione, a partire dal 2000, ha sviluppato in collaborazione con l'Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste (ERSAF) e l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) un programma di monitoraggio dell'uso del suolo, denominato DUSAF (Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali). Il Dusaf è, in sostanza, un sistema informativo costruito integrando attività di foto-interpretazione di immagini aeree con informazioni derivanti da database e progetti territoriali realizzati in ambito regionale, come ad esempio il Sistema Informativo Agricolo Regionale, la Carta dei Tipi Forestali, le mappe di *land cover* da satellite, la mappa della popolazione residente, l'Archivio Integrato delle Attività Produttive, ecc. Il risultato è una cartografia digitale al 10.000, con una unità minima di rilevazione di 1.600 m^2 per ogni tematismo areale e di 40 m per gli elementi lineari. La legenda adottata è strutturata in 5 livelli gerarchici di cui i primi tre sono conformi al sistema di nomenclatura CLC, mentre gli ultimi due livelli, ove presenti, descrivono elementi caratteristici del territorio lombardo. Esperienze simili sono state avviate da diverse altre Regioni, come il Veneto (Foccardi, 2013), l'Emilia Romagna (Bonora, 2013), la Toscana (Agnoletti e Iommi, 2009).

Un tentativo di avviare una collaborazione interistituzionale e interregionale finalizzata alla mosaicatura delle banche dati di uso del suolo e più in generale allo scambio di esperienze nel campo della pianificazione e della *governance* territoriale è quello avviato nel 2007 dal Tavolo Interregionale per lo sviluppo territoriale sostenibile della macro area padano alpina marittima, a cui aderiscono sette Regioni (Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Lombardia, Liguria, Piemonte, Valle d'Aosta, Veneto) e le due Province autonome di Trento e Bolzano[13].

13 Per un approfondimento si rinvia al sito http://www.regione.piemonte.it/territorio/pianifica/tavoloInterregionale.htm

Bibliografia

AGNOLETTI C., IOMMI S, (2009), *Le fonti informative sul land use. Riflessioni su potenzialità e limiti di alcuni strumenti conoscitivi a partire dall'applicazione al caso toscano*, in XXX Conferenza Scientifica annuale AISRE, *Federalismo, integrazione europea e crescita regionale,* Firenze.

BAIOCCO F. E ALTRI (2013), *Strumenti del sistema nazionale per la protezione dell'Ambiente per la gestione dei dati sul consumo di suolo*, «Bollettino AIC», 149, pp. 15-25.

BALDACCI E., SABBADINI L. (2013), *Audizione dell'Istituto nazionale di statistica alla Camera dei deputati Esame delle abbinate proposte di legge C. 902 Bordo e C. 947 Catania, in Materia di valorizzazione delle aree agricole e di contenimento del consumo del suolo*, Roma, 17 dicembre 2013.

BIANCHI D., ZANCHINI E. (a cura di) (2011), *Ambiente Italia 2011. Il consumo di suolo in Italia*, Rapporto annuale di Legambiente, Edizioni Ambiente, Milano.

BONORA P. (a cura di) (2013), *Atlante del consumo di suolo per un progetto di città metropolitana. Il caso Bologna*, Baskerville, Bologna.

BURCHFIELD M., OVERMAN H., PUGA D., TURNER M. (2006), *Causes of Sprawl: A Portrait from Space*, «Quarterly Journal of Economics», 121 (2), pp. 587-633.

CAMAGNI R. GIBELLI M.C., RIGAMONTI P. (2002), *I costi collettivi della città dispersa*, Alinea, Firenze.

CARTEI G.F., DE LUCIA L. (a cura di) (2014), *Contenere il consumo di suolo*, Editoriale scientifica, Napoli.

CENTRO DI RICERCA SUI CONSUMI DI SUOLO (2011), *Rapporto 2010*, INU Edizioni, Roma.

CENTRO DI RICERCA SUI CONSUMI DI SUOLO (2012), *Rapporto 2012*, INU Edizioni, Roma.

CRUCIANI S. E ALTRI (2012), *Una stima 2001-2011 dell'urban sprawl in Italia attraverso l'uso di dati geografici*, comunicazione alla XXXIII Conferenza Scientifica Annuale AISRe, *Istituzioni, reti territoriali e sistema Paese: la governante delle relazioni locali-nazionali*, Roma.

DE GROOT R. E ALTRI (2002), *A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services* in «Ecological Economics», 41 (special issue *The Dynamics and Value of Ecosystem Services: Integrating Economic and Ecological Perspectives*), pp.393-408.

EUROPEAN COMMISSION (2011), *Mapping Guide for a European Urban Atlas*, Ref. Ares(2012)1348219 – 15/11/2012, European Union.

EUROPEAN COMMISSION (2012), *Overview of best practices for limiting soil sealing or mitigating its effects in EU-27*, SWD(2012) 101, Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2012.

EUROPEAN COMMISSION, DG ENVIRONMENT (2012). *Soil Sealing In-Depth Report*. Science for Environment Policy.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2007), *CLC2006 technical guidelines*, EEA Technical report 17/2007, Copenhagen.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2006a), *Land accounts for Europe 1990–2000. Towards integrated land and ecosystem accounting,* EEA, Copenhagen.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2006b), *Urban sprawl in Europe. The ignored challenge* EEA, Copenhagen.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2011), *Guidelines for verification of high-resolution layers produced under Gmes/Copernicus initial operations (GIO) land monitoring 2011–2013*, EEA, Copenhagen.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2012), *Multilingual Environmental Glossary*, EEA, Copenhagen.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2010a), *The European environment – state and outlook 2010. Land use*, EEA, Copenhagen.

European Environment Agency (2010b), *The European environment – state and outlook 2010. Soil*, EEA, Copenhagen.

European Environment Agency, Joint Research Centre (2012), *The State of Soil in Europe – A contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report – SOER 2010,* Lussemburgo, Publications Office of the European Union.

European Environment Agency, Unep (2000), *Down to earth: Soil degradation and sustainable development in Europe. A challenge for the 21st century,* Environmental Issue series No 16, Copenhagen.

Eurostat (2009), *LUCAS 2009 (Land Use / Cover Area Frame Survey), Technical reference document C-3: Land use and Land Cover: Nomenclature,* Eurostat.

Eurostat (2013), *LUCAS The EU's land use and land cover survey*, Eurostat.

Ferrara A. (2012), *Verso un sistema nazionale di rilevamento del consumo del suolo*, comunicazione alla Conferenza del CRSC, *Misurare e regolare il consumo di suolo* Milano14 maggio 2012.

Ferrara A. (2013), *Per una proposta estesa di metodologie di rilievo dei consumi di suolo in Italia: dimensioni e indicatori*, comunicazione al Convegno CRCS, *La misurazione del consumo di suolo alla scala nazionale*, 26 settembre 2013 Politecnico di Milano.

Foccardi M. (2013), *Le esperienze della Regione del Veneto nelle analisi sul consumo di suolo*, comunicazione al Convegno ISPRA *Il consumo di suolo: lo stato, le cause e gli impatti*, 5 febbraio 2013 Roma.

Fondo Ambiente Italiano, World Wildlife Foundation (2012) *Terra rubata. Viaggio nell'Italia che scompare. Le analisi e le proposte di FAI e WWF sul consumo del suolo*, FAI e WWF.

Gardi C., Dall'Olio N., Salata S. (2013), *L'insostenibile consumo di suolo*, Edicom Edizioni, Monfalcone.

Gardi C., Montanarella L., Palmieri A., Martino L. (2010), *La difficile quantificazione del consumo di suolo in Europa*, in Crcs, pp.26-35.

Gasparini P., Tabacchi G. (a cura di) (2011), *L'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio INFC 2005. Secondo inventario forestale nazionale italiano. Metodi e risultati*, Edagricole-Il Sole 24 ore, Bologna.

Gibelli M.C., Salzano E. (a cura di) (2006*), No Sprawl Perché è necessario controllare la dispersione urbana e il consumo di suolo,* Alinea, Firenze.

Giovannini E. (2012), *Le problematiche connesse al consumo del suolo*, Audizione alla XIII Commissione Territorio, Ambiente e Beni ambientali del Senato della Repubblica, 18 gennaio 2012, Roma.

Homes and Communities Agency (2014), *National Land Use Database of Previously-Developed Land 2012 (NLUD-PDL),* reperibile al sito https://www.gov.uk/government/collections/national-land-use-database-of-previously-developed-land-nlud-pdl

Iovino G., Bencardino M. (2014), *Analizyng and managing urban sprawl and land take* Discussion paper n. 131, Celpe (Centro di Economia del Lavoro e di Politica Economica), Università di Salerno.

Istat (2009), *Atlante di geografia statistica e amministrativa*, Istituto Nazionale di Statistica, Roma.

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2012), *Qualità dell'ambiente urbano VIII Rapporto*, Ispra, Roma.

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2013), *Annuario dei dati ambientali. Edizione 2012*, Ispra, Roma.

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2014), *Audizione dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) presso la Commissione Agricoltura, congiuntamente con la Commissione Ambiente, della Camera sul consumo di suolo,* Roma, 27 febbraio 2014.

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2014), *Il Consumo di suolo in Italia*, Rapporto 195, Roma.

Lupia F., Pulighe G., Munafò M. (2014), *Fonti informative di uso e copertura del suolo in Italia: caratteristiche e potenzialità,* in Cartei G.F., De Lucia L., pp.29-42.

Marchetti M., Bertani R., Corona P., Valentini R. (2012*). Cambiamenti di copertura forestale e dell'uso del suolo nell'inventario dell'uso delle terre in Italia,*« Forest@», 9, pp. 170-184.

Maricchiolo e Altri (2005), *La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover 2000*, Apat Rapporti, 61, Roma.

Marinosci I. (2013), *I servizi Copernicus/GMES per la valutazione del consumo del suolo*, Convegno ISPRA *Il consumo di suolo: lo stato, le cause e gli impatti*, 5 febbraio 2013 Roma.

Marshall J.D.(2007), *Urban Land Area and population growth: a new scaling relationship for metropolitan expansion*, «Urban Studies», 44, 10, pp.1889-1904.

Millennium Ecosystem Assessment (2005), *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*, Island Press, Washington, DC.

Munafò M. e altri (2013), *Il monitoraggio del consumo di suolo in Italia*, «Bollettino AIC», 149, dicembre 2013 pp. 117-128.

Munafò M., Ferrara A. (2012), *Consumo di suolo: proposte di tassonomia e misura*, in XXXIII Conferenza Scientifica annuale AISRe *Istituzioni, Reti Territoriali e Sistema Paese: La governance delle relazioni locali – nazionali,*, 13-15 Settembre 2012 Roma.

Osservatorio Nazionale sui Consumi di Suolo (2009), *Primo Rapporto 2009*, Maggioli editore, Santarcangelo di Romagna.

Pileri P. (2009), U*na definizione di partenza per il consumo di suolo, il metodo dei flussi e alcune questioni aperte*, in Oncs, pp. 10-14.

PROKOP G. ET AL. (2011) *Overview of best practices for limiting soil sealing or mitigating its effects in EU-27 Final Report*, Technical Report for European Commission.

REGIONE LOMBARDIA (2011), *L'uso del suolo in Lombardia negli ultimi 50 anni*, Milano.

SETTIS S. (2010), *Paesaggio Costituzione Cemento. La battaglia per l'ambiente contro il degrado civile*, Einaudi, Torino.

WORLD WILDLIFE FOUNDATION ITALIA (2009), *2009 l'anno del cemento, dossier sul consumo di suolo in Italia,* WWF Italia, Roma.

WORLD WILDLIFE FOUNDATION ITALIA (2013), *Riutilizziamo l'Italia Report 2013*, WWF Italia, Roma.

La cartografia come strumento di interpretazione dei risultati di un modello di scomposizione spaziale: nuove proposte con applicazione al caso dell'occupazione in Friuli Venezia Giulia

Cartography as a tool for interpreting the results of spatial decomposition: new proposals with application to the analysis of employment in Friuli Venezia Giulia

Gian Pietro Zaccomer*, Luca Grassetti*

Riassunto

Quando si considera l'analisi di fenomeni quantitativi spazialmente distribuiti, come quelli di carattere economico, è necessario adottare strumenti specifici in grado di trattare il problema autocorrelazione spaziale. Negli ultimi dieci anni, grazie alla diffusione di software per l'analisi di dati spaziali, e di strumenti per la visualizzazione grafica dei dati, il numero di studi economici territoriali sta progressivamente crescendo. Nella maggior parte dei casi gli strumenti disponibili consentono una rappresentazione efficiente sia dei dati "grezzi" sia dei risultati finali delle analisi. Questo lavoro mostra invece come la cartografia possa fungere da risultato intermedio, ma fondamentale, nell'analisi *shift-share* di tipo spaziale. Un'osservazione grafica preliminare del vicinato, condotta considerando un algoritmo basato sulla autocorrelazione spaziale, può essere utile per ottenere non solo risultati significativi, ma anche più facilmente interpretabili.
Nel presente articolo saranno dapprima sviluppati alcuni risultati teorici riguardanti la modifica del ben noto metodo di ricerca del vicinato AMOEBA. Successivamente, l'analisi spaziale sarà applicata ai dati sull'occupazione del Friuli Venezia Giulia raccolti nell'Archivio delle Imprese Attive (ASIA) gestito dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT). Sia la cartografia intermedia sia gli algoritmi di scomposizione sono stati sviluppati in R integrando le librerie già disponibili per la visualizzazione dei dati spaziali con uno script sviluppato per l'occasione.

Parole chiave

Analisi di scomposizione spaziale, pesi spaziali, vicinato, AMOEBA, ecotope, occupazione regionale, registro statistico delle imprese, cartografia, Friuli Venezia Giulia

Abstract

In the framework of the analysis of spatially distributed quantitative phenomena, as for instance the economic ones, it is necessary to adopt specific tools able to deal with the spatial autocorrelation issue. In the last decade, thanks to the deployment of software for spatial data analysis and visualization, the number of spatial economic studies progressively increased. In the most of cases the available software allow for efficient data representation. The present work aims at introducing cartography as an intermediate but crucial result in the Spatial Shift Share Analysis. A preliminary graphical analysis of the neighborhood, conducted by considering an algorithm based on the spatial autocorrelation, can be fundamental in order to obtain meaningful and interpretable results.
Theoretical results regarding the modification of the well-known AMOEBA neighboring method are developed here and the spatial analysis is applied to the occupation data observed in Friuli Venezia Giulia. Data are collected in the Statistical Business Register, so-called ASIA, administered by the Italian National Statistical Institute (ISTAT). Both the intermediate cartography and the spatial decomposition algorithms are developed in R integrating the available spatial libraries with an ad-hoc script.

Keywords

Spatial Shift-Share Analysis, spatial weights, neighborhood, AMOEBA, ecotope, regional employment, Statistical Business Register, cartography, Friuli Venezia Giulia

* Università degli Studi di Udine. Il lavoro è frutto dell'impegno comune degli autori, ma la stesura finale dei primi tre paragrafi va attribuita a L. Grassetti, mentre la parte restante del lavoro a G.P Zaccomer.

1. Introduzione

Il lavoro qui presentato richiede un certo sforzo interdisciplinare intersecando conoscenze di natura economica, statistica e informatica tutte riferite all'ambito spaziale. Per rendere più comprensibile il percorso seguito si cercherà di delimitare chiaramente i diversi aspetti cercando di definire in modo preciso il problema trattato, la modellistica quantitativa e la sua concretizzazione nel caso empirico proposto.

In generale, il problema studiato ricade nel più ampio studio delle variazioni temporali di un fenomeno espresso in forma quantitativa, quindi misurabile, che si manifesta su un territorio. In particolare, l'idea è quella di scomporre una variazione, assoluta o relativa (*tasso di variazione* o *tasso di crescita*), in diverse componenti di cui si conosce, per costruzione, il significato. Come verrà presto illustrato, rispetto al modello formulato nei primi anni Sessanta, è stato necessario aspettare quasi mezzo secolo affinché il modello di scomposizione diventasse un vero e proprio modello di analisi spaziale. Questo passo è stato ottenuto attraverso l'inserimento di una matrice di pesi spaziali che incorpora, di fatto, le ipotesi fatte dal ricercatore sul modo in cui le relazioni tra *Unità Territoriali* (UT) influenzano le manifestazioni del fenomeno oggetto di studio. Entrando nel dettaglio della struttura di questo lavoro, se il secondo paragrafo riguarda l'evoluzione storica del modello di scomposizione, il terzo riguarda invece le diverse proposte di costruzione della matrice dei pesi presenti in letteratura, soprattutto quella più recente.

L'avanzamento metodologico qui presentato riguarda l'integrazione dell'algoritmo AMOEBA all'interno della scomposizione: questo algoritmo costruisce, partendo da ogni singola unità, un gruppo di UT, detto *ecotope*, che assumerà il ruolo di vicinato nella scomposizione. Il quarto paragrafo illustra l'originale algoritmo AMOEBA e le modifiche proposte per ovviare ad alcuni suoi elementi di criticità. Poiché nel sesto paragrafo verranno proposti i principali risultati delle scomposizioni, non tanto per la mera descrizione del fenomeno ma piuttosto nell'ottica del confronto di diversi risultati ottenuti attraverso diverse matrici di pesi spaziali, e poiché per il confronto dei risultati è necessario analizzare prima le diverse cartografie dei vicinati, nel quinto paragrafo verrà illustrata l'implementazione dello strumento cartografico nella procedura di scomposizione. Tale implementazione è resa possibile dal linguaggio di programmazione R che rappresenta un potente strumento *free* a disposizione dei geografi quantitativi, o almeno di quelli che sanno navigare, per mutuare il titolo evocativo di un noto manuale di P. Burns, in *"the R inferno"*.

2. Il modello di scomposizione spaziale

La *Shift-Share Analysis* è una metodologia nata per scomporre la variazione temporale di una variabile. Anche se già nota negli anni Quaranta in ambito economico, è prassi far risalire la sua genesi alla formalizzazione di Dunn (1960). Dalla sua denominazione italiana di *analisi delle componenti strutturali e regionali* risulta immediato intuire che si tratta di una tecnica capace di separare il contributo dovuto al *mix settoriale* dell'attività produttiva da quello degli altri *fattori locali di sviluppo* (Bracalente, 1991). La classica formulazione di Dunn permette di scomporre un tasso di crescita g di una UT nel seguente modo:

$$g_{r.} = \frac{\Delta x_{r.}}{x_{r.}} = g_{..} + \sum_{i=1}^{I} \left(g_{.i} - g_{..}\right)\frac{x_{ri}}{x_{r.}} + \sum_{i=1}^{I} \left(g_{ri} - g_{.i}\right)\frac{x_{ri}}{x_{r.}} \quad (1)$$

dove x è la variabile che esprime la misura del fenomeno oggetto di studio, r è il contatore delle UT (ad es. livelli di classificazione NUTS), mentre i è il contatore settoriale, ossia quello riferito alle diverse attività economiche (ad es. livelli di classificazione NACE-ATECO). Questa scomposizione individua per costruzione tre componenti: 1) la *componente tendenziale* altro non è che il tasso di crescita al massimo livello di aggregazione territoriale (qualora questo sia l'intero territorio di un Paese prende il nome di *componente nazionale*); 2) la *componente strutturale* esprime il contributo locale del *mix* produttivo; 3) la *componente locale* (o *"regionale"*) sostanzialmente raccoglie tutti i contributi locali diversi da quelli del *mix* settoriale. In altre parole, il tasso di crescita di una UT è influenzata da quello della sua macro-area di riferimento, dalla sua diversa struttura produttiva rispetto a quella "media nazionale", e dalle sue caratteristiche

peculiari non ricollegabili alla struttura produttiva. Essendo la scomposizione di tipo matematico, è possibile vedere la componente locale come quella componente che raccoglie tutte le discrepanze tra il tasso dell'UT e quello tendenziale al lordo dello specifico effetto del *mix* settoriale. Dopo questa proposta iniziale, dalla lettura sono emerse una serie di proposte teoriche per migliorare la scomposizione di Dunn e rimuovere alcuni suoi difetti, tra le più note si ricordano quelle di Esteban-Marquillas (1972), di Arcelus (1984) e di Ray (1990) che introdusse l'idea di scomposizioni "a più vie".

Concentrando l'attenzione solo sull'aspetto spaziale, il modello di Dunn e i suoi derivati sono sempre stati considerati uno strumento per l'analisi territoriale per il mero fatto che le unità statistiche di riferimento sono di tipo territoriale. Bisogna attendere il lavoro di Nazara e Hewings (2004) per assistere ad una prima proposta di introduzione, in modo indiretto, della matrice dei pesi spaziali all'interno della scomposizione di Dunn. Nonostante il lavoro fornisca un'indicazione prettamente qualitativa basata solo sugli *spread* di tassi, quindi non entrando nel merito né degli aspetti matematici e statistici né della costruzione della matrice dei pesi spaziali da utilizzare per calcolare i tassi relativi al vicinato, tale proposta ha avuto sicuramente il merito indicare la via per rendere il modello di scomposizione finalmente un "vero" strumento di analisi spaziale.

Nel giro di pochi anni, dall'idea di Nazara e Hewings scaturiscono diversi studi che si muovono in diverse direzioni e diversi campi applicativi, come quelli di Mayor e López (2005), Patuelli, Reggiani, Nijkamp e Blien (2006) e Zaccomer (2006). In particolare quest'ultimo, studiando la crisi della forma distrettuale partendo dai dati del Registro delle Imprese (RI) di fonte camerale, introduce due modelli "a due vie", ossia dove la scomposizione non considera solo una componente legata al *mix* settoriale, ma anche una legata alla forma giuridica come *proxy* della dimensione e della complessità d'impresa. In Zaccomer (2008) viene derivata dai precedenti una nuova scomposizione, detta *modello ibrido*, che ha anche il pregio di considerare direttamente la connessione tra le due chiavi di scomposizione, ossia attività economica e forma giuridica. Successivamente Zaccomer e Mason (2008a) e Zaccomer e Grassetti (2008) propongono una nuova applicazione del modello ibrido non più a livello distrettuale ma a livello regionale, considerando come vicinati i Sistemi Locali del Lavoro (SLL), che non utilizza più i dati del RI bensì quelli di ASIA rielaborati da ISTAT[1]: tali lavori costituiscono anche il primo sistematico tentativo di confrontare le diverse scomposizioni in funzione delle diverse ipotesi fatte sui pesi spaziali. Sulla scia di questi lavori, Faramondi (2006) e Pasquariello (2011) propongono delle applicazioni al valore aggiunto, mentre Bonazzi e Sansoni (2008) nell'ambito della valutazione ambientale. Infine, Zaccomer e Mason (2011) forniscono una completa analisi delle proprietà formali, matematiche e statistiche, del modello ibrido verificando i risultati teorici attraverso un'applicazione relativa all'occupazione regionale. Tale modello, che costituisce il riferimento principale di questo lavoro, viene così costruito:

$$
\begin{aligned}
g_{r..} &= g_{...} + \left(\breve{g}_{r..} - g_{...}\right) + \\
&+ \left[\sum_{i=1}^{I} \left(\breve{g}_{ri.} - \breve{g}_{r..}\right) \frac{a_{ri.}}{a_{r..}} + \sum_{f=1}^{F} \left(\breve{g}_{r.f} - \breve{g}_{r..}\right) \frac{a_{r.f}}{a_{r..}} + C_r \right] + \\
&+ \sum_{i=1}^{I} \sum_{f=1}^{F} \left(g_{rif} - \breve{g}_{rif}\right) \frac{a_{rif}}{a_{r..}}
\end{aligned}
\qquad (2)
$$

È immediato constatare che la struttura è decisamente più complessa di quella del modello (1). Prima di tutto appaiono le doppie sommatorie poiché è stata introdotto la "seconda via", ossia la forma giuridica d'impresa attraverso il contatore *f*. Inoltre, rispetto al modello di Dunn ora sono presenti i tassi di vicinato $\breve{g}$ che permettono di introdurre, nel loro calcolo, la matrice dei pesi spaziali. Quindi nel modello (2), nello spirito dell'idea proposta da Nazara e Hewings (2004), sono presenti tre

[1] Si ricorda che il RI è solo una delle fonti di ASIA e che l'Istituto Nazionale provvede a varie forme di pulizia e riclassificazione dei dati provenienti dagli archivi amministrati per cui le due fonti non coincidono più come ben emerso in Zaccomer e Mason (2008b) studiando la struttura dell'artigianato regionale. Inoltre, una sostanziale differenza tra il Registro e l'Archivio sta nel fatto che, all'epoca dello studio, la qualità dei dati sugli occupati desunti dal Registro delle Imprese di fonte camerale era molto bassa (gran parte delle imprese registrate non dichiaravano tale grandezza) limitando quindi lo studio alla sola numerosità delle imprese attive. Al contrario ASIA, integrando le informazioni provenienti dalle rilevazioni ufficiali sulle forze lavoro e sugli occupati, permette anche lo studio dell'occupazione a livello comunale.

livelli territoriali: 1) il livello minimo costituito dalle UT; 2) la macro-area, come insieme esaustivo di tutte le UT; 3) il *vicinato*, ossia un insieme parziale di UT che sono "vicine", così come sarà definito in seguito, a ciascuna unità. Per quanto riguarda le componenti del modello ibrido, che ora sono sei, ritroviamo: a) la *componente tendenziale* TEND come nel modello (1); b) una *componente di confronto* CFR espressa dal semplice *spread* tra il tasso di crescita del vicinato e quello nazionale; c) tre componenti, evidenziate nella (2) dalla parentesi quadra la cui somma verrà indicata con INTRA, di *confronto intra-vicinato* relativamente all'attività economica ECO, alla forma giuridica FG e alla connessione C_r che si annulla in caso di indipendenza (tra le due chiavi di scomposizione) sempre, e solo, a livello di vicinato (Zaccomer, Mason, 2011); d) la *componente locale* LOC che come nel modello di Dunn raccoglie tutti i contributi locali diversi da quelli individuati in precedenza, ma che nella scrittura sua è più complessa per i motivi appena esposti (modello a "due vie" e presenza del vicinato).

3. La matrice dei pesi spaziali

Dopo aver analizzato il modello di scomposizione è necessario considerare la *matrice dei pesi spaziali* W. Fino ad ora si è evidenziato solo il fatto che questa può essere introdotta indirettamente nel modello di scomposizione attraverso l'utilizzo dei tassi di crescita del vicinato che, in riferimento ad generico un intervallo di tempo (t, t+1), possono essere così calcolati:

$$\breve{g}_{rif} = \frac{\left(\sum_{s=1}^{R} \breve{w}_{rs} x_{sif}^{(t+1)} - \sum_{s=1}^{R} \breve{w}_{rs} x_{sif}^{(t)}\right)}{\sum_{s=1}^{R} \breve{w}_{rs} x_{sif}^{(t)}} \qquad (3)$$

da cui risulta evidente che i valori del fenomeno misurato vengono pesati dagli elementi di W. In via di prima approssimazione, affinché una matrice possa essere considerata come un *sistema di pesi spaziali* deve essere costruita solo da valori non negativi e deve soddisfare alla ben nota *prima legge delle geografia di Tobler* (1970), ossia deve attribuire maggiore peso alle UT spazialmente più "vicine". Inoltre, affinché una generica matrice di pesi spaziali possa essere inserita in un modello di scomposizione *shift-share*, così come già evidenziato da Nazara e Hewings (2004), deve risultare standardizzata per riga.

La letteratura (in particolare quella geografica, statistica ed econometrica) ha prodotto, già a partire dai primi studi sulle relazioni spaziali, diverse proposte di modellizzazione così come riportato nei fondamentali manuali di Unwin (1981), Ripley (1981) e Anselin (1988). Una rassegna sulle matrice dei pesi, mirata alla scomposizione shift-share, è presente in Zaccomer e Mason (2008), ma ai fini del presente lavoro è possibile ricorrere ad una loro classificazione rispetto alla natura della matrice pre-standardizzazione. Una prima famiglia è quella delle *matrici basate sulla mera contiguità*. Tali matrici, binarie e simmetriche, fanno generalmente riferimento al paradigma degli scacchi, mutuando i casi torre (le UT sono contigue se hanno in comune una parte di confine) e regina (le UT sono contigue se hanno in comune anche solo un punto), e all'ordine della contiguità (per questi concetti base si rimanda direttamente a Upton e Fingleton, 1985). Nella successiva applicazione pratica verranno utilizzate le matrici del caso torre di primo ordine e quella ottenuta attraverso una *distanza soglia* D_m, che rappresenta una distanza massima oltre la quale le UT non appartengono più al vicinato, la cui quantificazione può essere ottenuta anche per via statistica.

Una seconda famiglia è quella delle *matrici basate su distanze* sia di tipo fisico (distanze in linea d'aria, percorsi stradali, tempi di percorrenza, ecc.) sia di tipo non fisico, come le cosiddette *distanze economiche*. Per questa famiglia si fa riferimento a funzioni matematiche che, se basate su distanze fisiche, devono rispettare la legge di Tobler, ossia godere della proprietà di monotonia decrescente. Questa famiglia è piuttosto ampia e quindi, per l'applicazione, si è concentrata l'attenzione solo sulle formulazioni più note in letteratura. La pietra miliare per questa famiglia è la proposta di Cliff e Ord (1981) che considera non solo la distanza fisica d_{rs}, ma anche la proporzione di confine in comune tra le unita territoriali r e s:

$$w_{rs} = \frac{p_{rs}^{\beta}}{d_{rs}^{\alpha}} \qquad (4)$$

dove α e β sono due parametri reali positivi che permettono di miscelare gli effetti della distanza e della conti-

 ISSN 2282-472X

guità fisica. A guardare bene, la proposta di Cliff e Ord sottende la contiguità di tipo torre di primo ordine e fornisce una matrice non simmetrica poiché i perimetri delle due UT, nel caso di partizioni irregolari come quelle amministrative, sono diversi. Nel caso in cui β sia nullo si ottiene una funzione potenza della sola distanza.

Come anticipato, la distanza può essere definita anche in senso statistico, ossia utilizzando variabili diverse da quelle fisiche. Nel campo economico, un paese può essere "più vicino" ad uno non contiguo. Ad esempio, guardando ai flussi commerciali, l'Italia risulta "più vicina" alla Germania rispetto alla confinante Slovenia, non rispettando quindi il pensiero di Tobler. Una prima proposta di distanza economiche è la (5) definita da Case, Rosen e Hines (1993), successivamente, normalizzata da Boarnet (1998) nella (6):

$$w_{rs} = \frac{1}{|E_r - E_s|} \qquad (5)$$

$$w_{rs} = \frac{\frac{1}{|E_r - E_s|}}{\sum_{s=1}^{R} \frac{1}{|E_r - E_s|}} \qquad (6)$$

dove E è una variabile economica, come il reddito procapite, il livello di occupazione o le esportazioni. Anche la ben nota funzione esponenziale negativa (7) è stata prima ripresa da Molho (1995) con l'introduzione della variabile economica, poi da Mitchell, Bill e Juniper (2005) con l'ulteriore introduzione di una soglia D_m:

$$w_{rs} = \frac{1}{e^{\alpha d_{rs}}} = e^{-\alpha d_{rs}} \qquad (7)$$

$$w_{rs} = \begin{cases} \frac{E_r \, e^{-\alpha d_{rs}}}{\sum_{h \neq r}^{R} E_h \, e^{-\alpha d_{rh}}} & d_{rs} < D_m \\ 0 & d_{rs} \geq D_m \end{cases} \qquad (8)$$

In letteratura si trovano molte altre soluzioni, ma tutte sostanzialmente derivate dalle precedenti proposte come adattamento alla problematica trattata: Fingleton (2001) utilizza un sistema di pesi del tipo Cliff e Ord, ma con una variabile economica al posto delle proporzione di confine, mentre in Patuelli *et al.* (2006) il vicinato viene semplicemente definito come l'insieme delle tre UT che fanno registrare i massimi flussi di interscambio commerciale.

Una terza famiglia è quella delle *matrici definite sulla base di riorganizzazioni territoriali note*: questo è un caso molto particolare poiché è possibile attribuire un significato preciso al vicinato, ad esempio se si studiano i distretti, il vicinato assume il significato di *quasi-distretto* (distretto al netto dell'UT considerata poiché, per convenzione, un'unità non appartiene mai al suo vicinato), mentre se si utilizzano i SLL, il vicinato assume il ruolo di *quasi-SLL*. Si tratta di casi molto fortuiti poiché godono di un'interpretazione *ex-ante* del vicinato.

Infine, una quarta famiglia è quella delle *matrici ottenute dall'analisi statistica* di una variabile legata, a vario titolo, con quella da scomporre. Si tratta del caso opposto al precedente, ossia l'interpretazione del vicinato è completamene sconosciuta finché non si vedono i risultati delle analisi. In via generale, per poter fornire un'interpretazione al vicinato ottenuto si impone l'ottimizzazione di una qualche funzione obiettivo. Ad esempio, l'algoritmo AMOEBA restituisce quel vicinato che massimizza un indicatore di correlazione spaziale locale.

La scelta di quale matrice dei pesi spaziali costruire e utilizzare, in qualsiasi modello o indicatore statistico, non è un campito semplice e dipende sostanzialmente dalla sensibilità del ricercatore poiché, come ben specificato da Badaloni e Vinci (1988, p. 127), tale decisione sottende l'ipotesi "riguardante il sistema di interdipendenze tra i luoghi di osservazione del fenomeno e il grado con cui la relazione di interdipendenza agisce sulle determinazioni del fenomeno". In letteratura sono presenti diversi lavori riguardanti la costruzione e la comparazione di matrici di pesi spaziali. Griffith (1996b, p. 80) fornisce cinque regole empiriche per la costruzione di tali matrici, tra cui anche un richiamo al *principio di parsimonia* che, in questo caso, si declina nel dare la preferenza alle matrici con basso ordine spaziale, ossia a vicinati non troppo complessi. Un fondamentale lavoro comparativo, richiamato dallo stesso Griffith (1996a, p. 8), è contenuto in Stetzer (1982) che considera sia matrici di contiguità fisica, comprese quelle ottenute attraverso il *Minimum Spannig Tree* (MST) molto utili nel caso di geografie di rete (Borruso, 2011), sia matrici

ottenute attraverso la funzione potenza e l'esponenziale negativa, considerando anche l'eventuale inserimento di distanze soglia. Nel presentare lo stato dell'arte della letteratura, Getis (2009, p. 408) riconosce che se Cliff e Ord hanno aperto la strada per lo costruzione di matrici non basate sulla mera contiguità territoriale, molto lavoro rimane da fare in materia di teoria e costruzione delle matrici dei pesi spaziali.

4. L'algoritmo AMOEBA e le modifiche proposte

Restando nell'ambito della costruzione della matrice dei pesi, l'avanzamento metodologico qui proposto consiste nell'integrazione e nell'adattamento dell'algoritmo AMOEBA (*A Multidirectional Optimum Ecotope-Based Algorithm*), sviluppato da Aldstadt e Getis (2004; 2006), nel contesto dell'analisi shift-share. Tale algoritmo permette la costruzione di un *cluster* di UT, detto *ecotope*, sulla base della massimizzazione dell'autocorrelazione spaziale di una variabile, detta di *clustering*, legata a diverso titolo alla variabile che si vuole scomporre. L'algoritmo implementato fornisce come output il vicinato e, indirettamente, anche una matrice dei pesi spaziali i cui valori, a differenza di quelli ottenuti per semplice contiguità territoriale, sono per costruzione decrescenti in funzione dell'ordine territoriale (questo però non implica sempre il rispetto della legge di Tobler) e standardizzati per riga cosi come richiesto da Nazara e Hewings.

Il punto di partenza dell'algoritmo è la scelta dell'indicatore di autocorrelazione spaziale locale: la scelta ricade generalmente sulle note proposte del LISA di Anselin (1995) e del G_i^* di Ord e Getis (1992, 1995) poiché entrambi hanno una distribuzione asintotica di tipo normale, situazione approssimata con un numero N di UT non piccolo (Ord e Getis, 1995, p. 296). Nell'applicazione di questo lavoro è stato utilizzato quest'ultimo indicatore per cui, seguendo i lavori di Aldstadt e Getis, i pesi della matrice spaziale sono definiti sulla base del $G_i^*(k)$ definito come:

$$G_i^*(k) = \frac{\sum_{j=1}^{N} w_{ij} x_i - \bar{x} \sum_{j=1}^{N} w_{ij}}{S \sqrt{\frac{N \sum_{j=1}^{N} w_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^{N} w_{ij} \right)^2}{N-1}}} \quad (9)$$

dove
x è la variabile di *clustering* utilizzata,

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N} x_j^2}{N} - \bar{x}^2}$$

k l'ordine di contiguità territoriale.

Per ogni i-esima UT si calcola prima di tutto $G_i^*(0)$, riferito solo a se stessa, che funge come valore da migliorare. Successivamente si confrontano tutte le possibili configurazioni con le UT del vicinato del tipo torre di primo ordine: se non esiste nessuna configurazione che migliora l'autocorrelazione locale, allora l'algoritmo si ferma attribuendo al peso valore nullo, altrimenti l'algoritmo AMOEBA procede alla determinazione di tutte le configurazioni che implicano anche le UT di ordine superiore. L'algoritmo si ferma, determinando l'ordine massimo di contiguità territoriale k_{max}, quando nessuna nuova configurazione riesce a migliorare $G_i^*(k)$. In via formale i pesi, per $k_{max} > 1$, sono così costruiti:

$$w_{ij} = \begin{cases} \dfrac{\text{P}[z \le G_i^*(k_{max})]\text{-P}[z \le G_i^*(k_j)]}{\text{P}[z \le G_i^*(k_{max})]\text{-P}[z \le G_i^*(0)]} & \forall \text{ j tale che } 0 < k_j \le k_{max} \\ 0 & \text{altrove} \end{cases} \quad (10)$$

dove i pesi vengo determinati utilizzando la funzione di ripartizione della distribuzione normale. Infine, seguendo l'usuale convenzione valida per tutte le matrici dei pesi spaziali, si pone per costruzione $w_{ii} = 0$. L'algoritmo AMOEBA, così come appena definito, soffre di due problemi ben distinti: il primo, ben presente in letteratura, riguarda prevalentemente l'aspetto computazionale, nel senso che l'algoritmo è altamente inefficiente dal punto di vita dei tempi di esecuzione, mentre il secondo, che non sembra aver attirato fino ad ora l'attenzione di altri autori, riguarda invece una questione prettamente teorica in sede di definizione dei pesi.

Il problema di natura computazionale si manifesta nel momento in cui il processo di formazione dell'*ecotope* è in una fase avanzata, ossia quando questo ha già assunto un certa dimensione e il vicinato da considerare nella fase successiva di aggregazione spaziale assume una numerosità elevata. Tenendo conto che l'algoritmo di scelta del miglior candidato alla formazione dell'*ecotope* deve valutare tutti i possibili vicinati con un nu-

mero variabile di unità fino al numero massimo di UT contigue, è abbastanza intuitivo che l'aspetto computazionale può diventare molto complesso. Solo per dare un idea della dimensione del problema, si supponga che al primo passo dell'algoritmo i vicini contigui siano 10: andranno considerati tutti i vicinati composti da una sola unità (10 casi), da due unità (45 casi), da tre unità (120 casi), da quattro unità (210 casi) e, così via, fino al vicinato completo. In sostanza, nel caso di 10 unità contigue, andranno considerate più di mille configurazioni diverse di vicinato. E questo aspetto si ripresenta, spesso amplificandosi, ad ogni successivo passo dell'algoritmo: per dare un'idea, nel caso presentato successivamente la cardinalità del vicinato è arrivata fino a 20 UT. Per ridurre i tempi di calcolo sono state intraprese diverse strade rispetto a quanto proposto nell'originale algoritmo AMOEBA. In Duque *et al.* (2011), l'algoritmo "esaustivo" è stato modificato in modo tale da rendere la procedura di scelta del vicinato più rapida. La strada percorsa dalla *Constructive* AMOEBA è quella di ordinare ad ogni iterazione del processo le singole UT, candidate ad entrare nell'*ecotope*, rispetto ai valori della variabile di *clustering*. Le UT saranno quindi introdotte nell'*ecotope* ordinatamente fino a che l'indice di autocorrelazione locale non peggiora. In altre parole, l'ordinamento permette di individuare prima tutte le combinazioni ottimali, riducendo quindi i tempi di calcolo, e non in modo casuale come nell'algoritmo esaustivo. Un'altra possibile soluzione al problema, che come la precedente vede l'avvallo di Aldstadt, è di natura strettamente computazionale poiché riguarda la parallelizzazione del processo così come proposto in Widener *et al.* (2012).

In questo lavoro si vuole proporre una modifica parzialmente diversa a quella di Duque *et al.* (2011), non del tutto equivalente ai risultati ottenuti dall'algoritmo esaustivo, ma che può portare alla costruzione di vicinati più contenuti in linea con il principio di parsimonia nella costruzione delle matrici dei pesi sottolineato da Griffith (1996b). Infatti, l'osservazione di alcune cartografie ottenute dall'algoritmo esaustivo può lasciare perplessi, soprattutto nel caso in cui la variabile di *clustering* non si distribuisca in modo ben definito sul territorio. In tal senso risulta utile disporre di diverse scomposizioni, basate sempre sull'algoritmo AMOEBA, poiché la non convergenza delle soluzioni attira l'attenzione sui casi in cui la definizione del vicinato risulta problematica.

La nuova proposta di modifica è fondata sulla successiva considerazione. Ad ogni passo di espansione dell'*ecotope*, l'algoritmo AMOEBA originale considera un nuovo *set* di possibili vicini e valuta, per tutte le possibili configurazioni di vicinato, l'apporto che essi hanno all'indice di correlazione spaziale. Data la particolare forma funzionale dell'indice considerato, un'unità che presa singolarmente presenta un apporto negativo al coefficiente di correlazione spaziale, considerata in un contesto più ampio, grazie al *trade-off* esistente tra l'apporto delle singole unità e numero delle unità considerate in un *cluster*, può essere ricompresa nell'*ecotope* finale. A parere di chi scrive, questa comportamento empirico dell'algoritmo originale non sembra molto coerente con l'idea di partenza, ossia quella di definire i vicinati sulla base della loro omogeneità economica.

La proposta di modifica consiste proprio nell'escludere le UT "incoerenti" dal processo di formazione dell'*ecotope*, ossia di estrometterle dalla costruzione di tutti i possibili sottoinsiemi di UT vicine. In altre parole è stato ridotto il *set* iniziale di possibili vicini escludendo quelle unità che prese singolarmente non entrerebbero nell'*ecotope*. Il vantaggio empirico di tale restrizione, in termini di complessità computazionale e di tempi di elaborazione, è notevole in particolare in prossimità della chiusura del processo di aggregazione. Ovviamente, anche per questo *algoritmo parsimonioso*, successivamente indicato come AMOEBAp, è teoricamente possibile ipotizzare una parallelizzazione del processo alla Widener *et al.* che comporterebbe ad un ulteriore effetto positivo sui tempi di elaborazione. È evidente che una modifica di tal genere può portare a risultati diversi rispetto all'algoritmo originale, ma è altrettanto chiaro quale possa essere il beneficio interpretativo legato all'esclusione di unità non coerenti fin dal primo passo di generazione dei possibili vicinati. Infine, sempre l'osservazione empirica ha messo in evidenza come la non convergenza dei risultati, in termine di formazione degli *ecotope*, riguardi solamente i casi numericamente limitati in cui le unità escluse dalla procedura modificata forniscano un apporto molto limitato al valore dell'indice di correlazione considerato.

Il secondo problema dell'algoritmo AMOEBA di Aldstadt e Getis riguarda proprio la costruzione della matrice dei pesi spaziali: dalla (10) risulta immediato che, per $k_j = k_{max}$, il peso è nullo "escludendo" di fatto dall'*ecotope* le UT individuate nell'ultimo passo dell'aggregazione nonostante queste comportino un incremento dell'indice di autocorrelazione spaziale. Tale incoerenza teorica non ha fino ad ora suscitato grande interesse probabilmente poiché, dal punto di vista empirico, si può verificare che in *ecotope* di grandi dimensioni i pesi assegnati alle ultime unità sono spesso esigui. Ciononostante l'incongruenza citata si fa sentire nel caso di piccole dimensioni, ma risulta palese nel caso in cui $k_{max} = 1$ poiché le UT vicine dovrebbero venire incluse per definizione e presentare pesi uniformi, non nulli come invece vorrebbe la (10). In questo lavoro si è deciso di modificare ulteriormente la procedura di calcolo sostituendo nella (10) a $G_i^*(k_{max})$ un valore leggermente più estremo rispetto alla distribuzione di riferimento, ossia la normale standard, definito da:

$$G_i^{**}(k_{max}) = G_i^*(k_{max}) + \delta \quad \text{con} \quad \delta = [G_i^*(k_{max}) - G_i^*(0)]\varepsilon \qquad (11)$$

dove ε identifica l'entità dell'aggiustamento ipotizzata dal ricercatore. Questo tipo di modifica sarà sempre presente nell'applicazione empirica successiva, quindi i due algoritmi AMOEBA modificati si differenzieranno solo nell'utilizzo della strategia, parsimoniosa o meno, di costruzione del vicinato.

5. L'integrazione dell'analisi cartografica nell'algoritmo di scomposizione

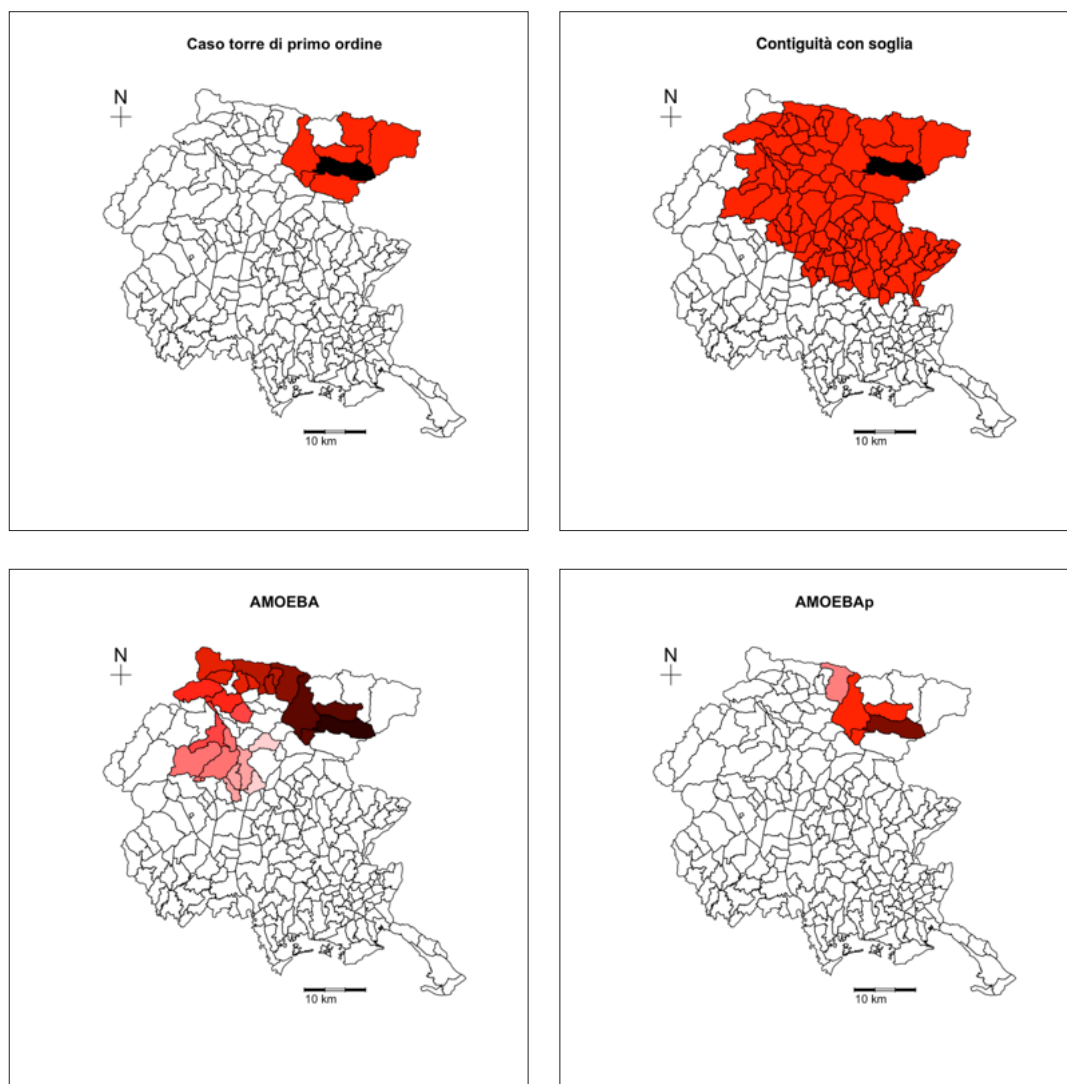
Prima di introdurre l'analisi dei cartogrammi prodotti dall'AMOEBA e i risultati dell'applicazione empirica, si vuole far notare come, nell'evoluzione di questo studio, gli elementi cartografici sono stati presenti sin dall'inizio. Nella prima versione della scomposizione sono stati utilizzati sistemi di pesi sostanzialmente legati alla mera contiguità territoriale (casi torre e regina) di diverso ordine. La procedura di scomposizione, in un primo tempo, è stata costruita importando le matrice dei pesi prodotte da *GeoDa*[2] sulla base delle cartografie del FVG. Lo stesso software disponeva però di limitate possibilità nella costruzione di matrici delle distanze, basate sui centroidi dei poligoni, non permettendo quindi nessuna introduzione di variabili esogene. Volendo implementare anche la proposta di Cliff e Ord, che richiede il computo della proporzione di confine in comune p_{rs}, è risultato chiaro che, per procedere nella ricerca intrapresa, fosse necessario integrare nel codice della scomposizione anche la parte relativa alla costruzione delle matrici dei pesi spaziali, non delegando più la gestione dell'informazione cartografica ad un software esterno. Questa soluzione ha comportato un ulteriore investimento in termini di programmazione, ma ha aperto la via ad ogni altra sperimentazione. In sostanza, il ricorso agli strumenti cartografici all'interno della procedura di scomposizione è stato fatto ben prima dell'integrazione dell'algoritmo AMOEBA, ma quest'ultimo costituisce un notevole avanzamento teorico poiché include un procedimento di *clustering* per la costruzione del vicinato e gli strumenti cartografici per seguire la sua formazione.

L'algoritmo AMOEBA, e le modifiche qui presentate, sono state implementate in R (R Core Team, 2013). In realtà, è già disponibile una libreria specifica riguardante l'algoritmo AMOEBA (Valles, 2014), ma purtroppo questa è stata sviluppata in modo ottenere solo la classificazione finale delle UT, senza permettere l'estrazione di informazioni intermedie sulla procedura di formazione degli *ecotope* e, soprattutto, senza la possibilità di estrarre i pesi spaziali. È stato quindi necessario riscrivere uno *script ad hoc* al fine, non solo di poter controllare ogni singolo passo dell'algoritmo, ma anche di apportare le modifiche necessarie all'algoritmo stesso. Dal punto di vista della rappresentazione grafica dei risultati ottenuti con R, è stata utilizzata la sua libreria *rgdal* (Bivand et al., 2014) che ha permesso la fondamentale integrazione dell'algoritmo AMOEBA con la rappresentazione cartografica dei fenomeni studiati e dei passaggi dell'algoritmo di aggregazione.

La costruzione delle cartografie dei vicinati, come anticipato, permette di interpretare con maggiore co-

2 Si tratta del software di L. Anselin, specifico per l'analisi dei dati spaziali, che risulta molto utile per il calcolo degli indici di autocorrelazione spaziale sia globale, come quello di Moran, sia quelli locali come il LISA, ma che nel procedere del tempo ha incrementato le sue funzionalità. URL: https://geodacenter.asu.edu. Data di ultima consultazione: 23/10/2014.

gnizione di causa il modello di scomposizione. In particolare, se alcune matrici dei pesi considerano in teoria tutte le UT come l'esponenziale negativa (qui la cartografia può essere impiegata solo al fine di rappresentare l'entità del peso), in altre è interessante rappresentare in forma grafica il vicinato di una certa UT. Anticipando alcuni risultati dell'applicazione successivamente proposta, nella Figura 1 si riporta il caso di Chiusaforte (unità più scura), in particolare i suoi vicinati nei casi torre di primo ordine (che corrisponde anche al caso di Cliff e Ord) e contiguità con soglia di circa 44 km, nonché le due versioni AMOEBA sopra proposte (in questi cartogrammi, il colore diventa sempre più chiaro all'aumentare del numero di passi necessari per includere nel *ecotope* le UT più distanti). Come si può vedere, i vicinati dei casi AMOEBA, che sono ben diversi dagli altri, in questo specifico caso sono anche diversi tra loro segnalando la difficoltà del caso analizzato. Mentre la

FIGURA 1 – Carta dei vicinati di Chiusaforte. Soluzioni divergenti per gli algoritmi AMOEBA e AMOEBAp

FONTE: elaborazione propria su dati ASIA-ISTAT

versione modificata dell'AMOEBA rispetto ai soli pesi porta un vicinato piuttosto allungato, che non include tutte le UT contigue di primo ordine, la "versione parsimoniosa" dell'algoritmo produce un vicinato troncato rispetto al precedente con sole tre UT di primo ordine e una di secondo.

Un'altra possibilità offerta dallo strumento cartografico è quella di utilizzare R non solo per plottare il risultato finale, ma per seguire ad ogni passo la formazione di un *ecotope*.

Ad esempio, in Figura 2, vengono riportati i sei passi necessari alla costruzione degli *ecotope* di Ampezzo e Cercivento, dove l'unità più scura è sempre quella di riferimento e la tonalità rossa serve per segnalare il fatto che la variabile di *clustering* delle UT risulta inferiore alla media regionale. In questo caso è possibile osservare come UT non contigue, vista l'omogeneità dei piccoli comuni montani, portano ad *ecotope* piuttosto simili. È anche possibile mettere a confronto le due proposte di AMOEBA rispetto ad un'unica UT: in tal caso il numero

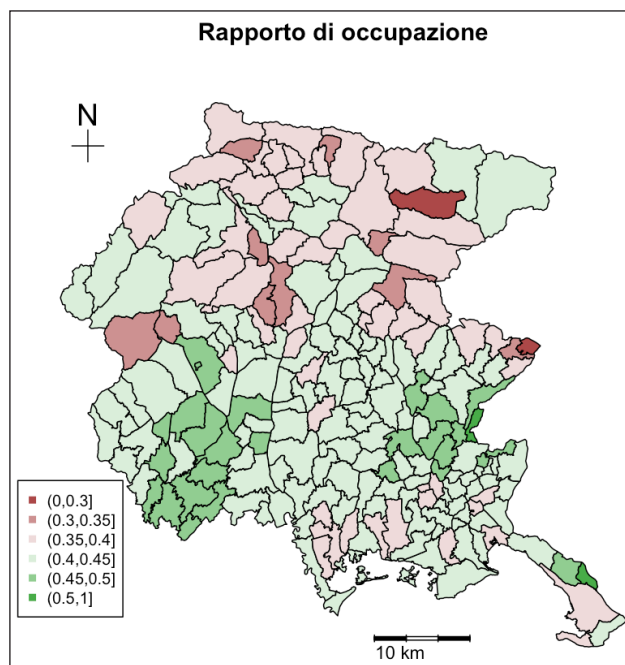
FIGURA 2 – Carta dei sei passi di costruzione degli *ecotope* di Ampezzo (colonne dispari) Cercivento (colonne pari). Soluzioni convergenti per gli algoritmi AMOEBA e AMOEBAp

FONTE: elaborazione propria su dati ASIA-ISTAT

di passi sarà sicuramente identico se il risultato converge, mentre generalmente questo è diverso nel caso in cui gli *ecotope* ottenuti sono differenti, come nel caso di Chiusaforte.

6. L'analisi dell'occupazione regionale del Friuli Venezia Giulia

L'applicazione presentata riguarda la scomposizione del tasso di crescita dell'occupazione regionale degli anni 2003-04 desunti dal registro ASIA. L'applicazione è stata condotta su un *dataset* già disponibile e noto, poiché già studiato in Zaccomer e Mason (2008a, 2011), visto che l'obiettivo principale è soprattutto quello di confrontare le componenti della scomposizione (2) ottenute utilizzando, nella (3), le matrice dei pesi (10) derivate dai due algoritmi AMOEBA modificati (parsimonioso e non) rispetto alle componenti ottenute con le specificazioni basate sulla contiguità, in particolare di primo ordine di tipo torre e con distanza soglia, e quelle basate sulle distanze quali quelle specificate in (4)-(8). In linea con i risultati ottenuti da Zaccomer e Mason (2011), le soglie non sono state ipotizzate direttamente in forma numerica, ma corrispondono a due distanze medie: per quella utilizzata nella matrice di contiguità con soglia, dove i pesi non decrescono all'allontanarsi dell'UT di riferimento, si è preferito selezionare una soglia più bassa pari alla distanza intercomunale media di circa 44 km, mentre nelle funzioni di tipo esponenziale, dove invece i pesi decrescono, si è preferito scegliere una soglia più alta pari alla semisomma tra distanza intercomunale minima e massima pari a quasi 69 km. Per quanto riguarda invece i parametri delle funzioni si è optato per α = 0,3 tranne nel caso di Cliff e Ord dove sono stati posti α = 0,5 e β = 0,3.

FIGURA 3 – Rapporti di occupazione del Friuli Venezia Giulia, anno 2003

FONTE: elaborazione propria su dati ASIA-ISTAT e popolazione residente ISTAT

Passando invece agli algoritmi AMOEBA, l'indice di Getis e Ord è stato calcolato sul rapporto di occupazione a livello comunale, che funge da variabile di *clustering*, la cui cartografia è riportata in Figura 3: emerge subito sia l'effetto della montagna, sia il "caso Trieste" che presenta una struttura demografica particolarmente sbilanciata verso le classi di età più elevate. Gli entrambi gli algoritmi sono stati fatti "girare" per ciascun comune della regione, portando alla costruzione dei diversi *ecotope* che sono risultati di differente cardinalità. In 23 casi, come Gorizia e Monfalcone, gli *ecotope* sono risultati insiemi vuoti poiché non esiste alcuna configurazione capace di migliorare la statistica $G_i^*(0)$: per questi comuni la scomposizione basata sull'algoritmo AMOEBA è di tipo degenere poiché le componenti di confronto intra-vicinato risultano tutte nulle[3]. In altri casi, come Trieste, gli *ecotope* sono unitari: se i tassi di crescita tra le due unità sono simili non vi sono problemi, ma se questi sono diversi (nel caso di Trieste, l'*ecotope* è costituito dal solo comune di Muggia), gli *spread* dei tassi sono elevati e le componenti tendono ad "esplodere", come risulta evidente dalla Tabella 1, rendendo la scomposizione instabile. Quindi il primo risultato trovato riguarda il fatto che la procedura

3 Tale risultato è banale, poiché conosciuto *ex-ante*, quando viene costruita una matrice dei pesi spaziali sulla base delle proposte presenti nel par. 3, ma in questo caso il vicinato di cardinalità nulla si ottiene come risultato dell'ottimizzazione di una funzione, quindi è una situazione che viene conosciuta solo *ex-post*.

AMOEBA non è indicata per le UT che hanno una cardinalità del vicinato molto bassa, al limite nulla. Questo risultato implica non solo che il principio di parsimonia non sempre porta a soluzioni esenti da problemi nel momento in cui si introduce una matrice dei pesi in uno specifico modello, ma anche che la valutazione delle diverse ipotesi di matrici spaziali deve essere fatta sempre alla luce del modello utilizzato.

Considerando ora il caso dei comuni di Udine e Pordenone riportato in Figura 4 dove, a differenza di prima, la tonalità verde serve per indicare il fatto che la variabile di *clustering* delle UT risulta superiore alla media regionale. Le due grosse realtà urbane regionali portano a risultati, in termini di confronto, del tutto simili. Infatti, sempre dalla Tabella 1, nel caso di Udine si evince come la scomposizione basata sulla contiguità con soglia porta ad un risultato alquanto diverso dagli altri poiché questo dipende sostanzialmente dal valore della soglia, l'esponenziale negativa e le proposte di Mohlo e di Mitchell *et al.* (che utilizzano la distanza in linea d'aria e il rapporto di occupazione come variabile economica) portano risultati sostanzialmente simili. Anche le distanze di Case *et al.* e Boarnet (che utilizzano ancora il rapporto di occupazione) portano a risultati simili tra loro, ma diversi ai precedenti poiché in questo gruppo non c'è nessun riferimento alla distanza tra UT. Per quanto riguarda il sistema di pesi di Cliff e Ord, questo porta a risultati non troppo dissimili a quelli ottenuti dall'esponenziale negativa, ma soprattutto questa scomposizione attribuisce un maggiore peso alle componenti intra-vicinato, per effetto del diverso peso che hanno le UT del vicinato, rispetto alla scomposizione basata sul caso torre di primo ordine. La funzione potenza invece fornisce risultati diversi poiché non tiene conto della porzione di perimetro in comune. Infine, le scomposizioni AMOEBA non solo convergono, ma forniscono risulti del tutto simili a quella basata sul caso torre di primo ordine, pur avendo degli *ecotope* decisamente diversi. I risultati per Pordenone sono qualitativamente del tutto simili a quelli di Udine, dove la con-

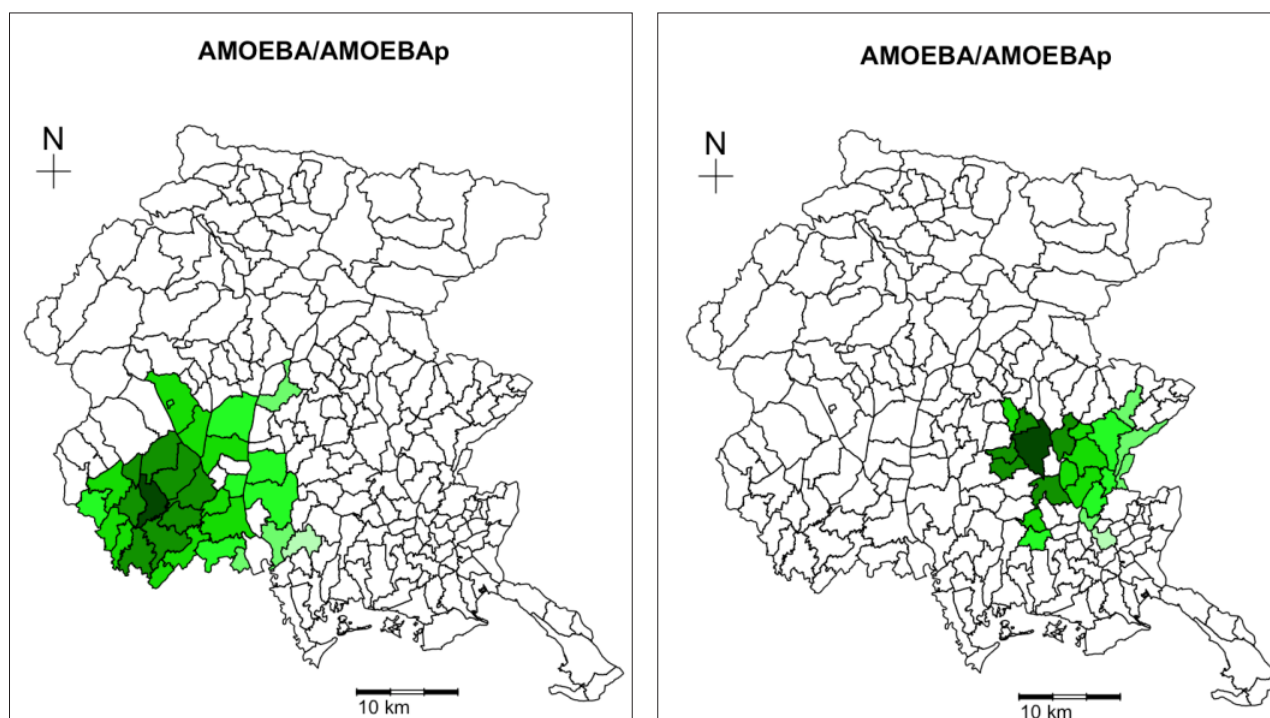
FIGURA4 – Carta degli *ecotope* di Pordenone (a sinistra) Udine (a destra). Soluzioni convergenti per gli algoritmi AMOEBA e AMOEBAp

FONTE: elaborazione propria su dati ASIA-ISTAT

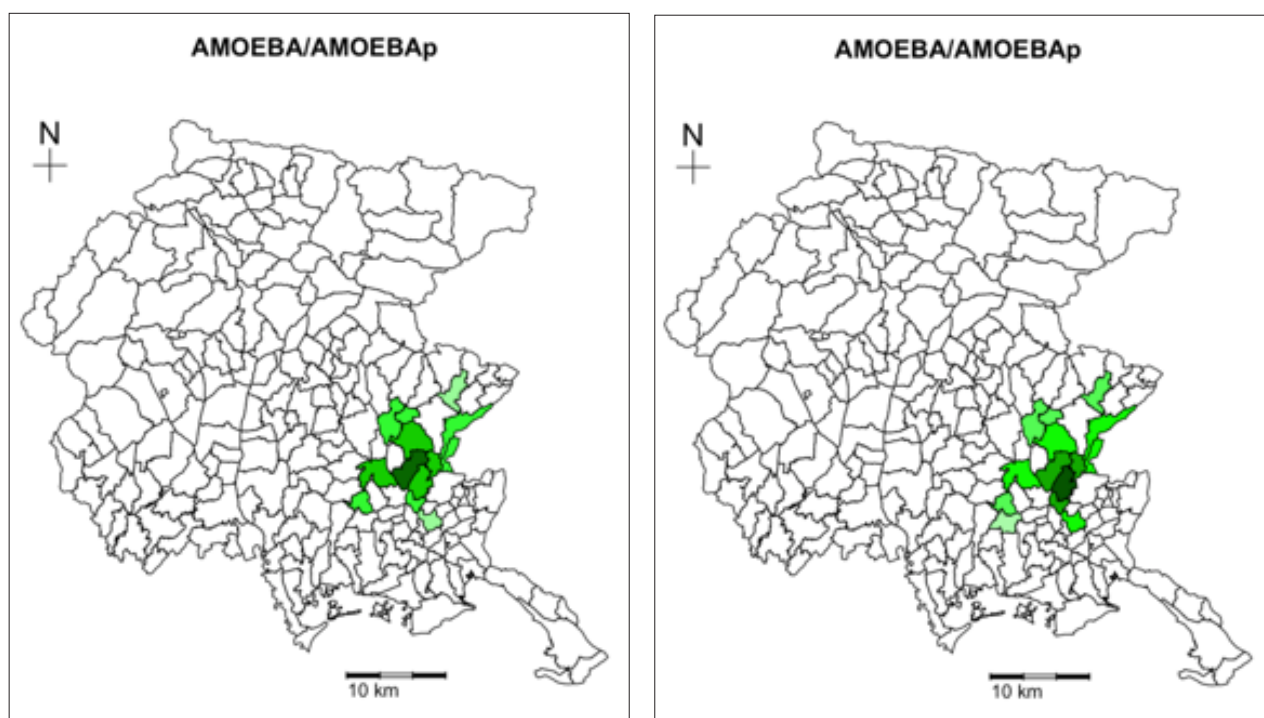
TABELLA 1 – Risultatati delle scomposizioni *shift-share* ottenute dal modello ibrido (2) per undici sistemi di pesi spaziali. Le componenti riportate sono: TEND (tendenziale, ossia il tasso di crescita del Friuli Venezia Giulia); CFR (confronto); ECO (intravicinato dell'attività economica), FG (intravicinato della forma giuridica); C_r (intravicinato di connessione); INTRA (intravicinato complessiva, ossia ECO + FG + C_r); LOC (locale); $g_{..}$ (tasso di crescita comunale da scomporre, pari quindi a TEND + CFR + INTRA + LOC)

Matrice dei pesi spaziali	TEND	CFR	ECO	FG	C_r	INTRA	LOC	$g_{..}$
	Trieste (cod. ISTAT 32006)							
Contiguità con soglia	-2,00	-0,77	-0,88	15,56	-2,92	11,76	-15,61	-6,62
Esponenziale negativa		-0,62	-0,20	45,72	6,45	51,97	-55,97	
Molho, Mitchell *et al.*		-0,70	-0,19	44,82	6,29	50,91	-54,83	
Case *et al.*		-2,24	0,94	-23,50	-10,45	-33,01	30,63	
Boarnet		-3,47	0,23	-24,18	-8,16	-32,10	30,96	
Funzione potenza		-0,94	0,39	-7,11	-6,13	-12,85	9,18	
Cliff e Ord		-0,79	0,17	14,94	1,69	16,80	-20,63	
Torre primo ordine		-0,49	0,05	22,11	2,36	24,52	-28,65	
AMOEBAp		-0,53	-1,23	106,99	30,01	135,77	-139,86	
AMOEBA		-0,53	-1,23	106,99	30,01	135,77	-139,86	
	Udine (cod. ISTAT 30129)							
Contiguità con soglia	-2,00	0,40	-0,47	0,23	0,15	-0,09	-1,88	-3,58
Esponenziale negativa		-0,36	-0,96	-1,89	-0,77	-3,62	2,41	
Molho, Mitchell *et al.*		-0,33	-0,95	-1,86	-0,83	-3,64	2,40	
Case *et al.*		1,58	-0,71	-0,66	2,17	0,80	-3,95	
Boarnet		1,02	-0,63	-0,52	1,74	0,59	-3,19	
Funzione potenza		-0,54	-0,39	0,55	0,06	0,22	-1,25	
Cliff e Ord		-0,93	-1,05	-1,16	-0,48	-2,70	2,05	
Torre primo ordine		-0,21	-0,96	-0,82	-0,20	-1,98	0,62	
AMOEBAp		-0,05	-0,74	-0,91	-0,40	-2,05	0,53	
AMOEBA		-0,05	-0,74	-0,91	-0,40	-2,05	0,53	
	Pordenone (cod. ISTAT 93033)							
Contiguità con soglia	-2,00	1,08	0,22	0,48	0,00	0,70	-6,21	-6,44
Esponenziale negativa		-0,98	-0,13	-0,05	-0,07	-0,25	-3,20	
Molho, Mitchell *et al.*		-0,98	-0,13	-0,06	-0,07	-0,25	-3,20	
Case *et al.*		1,79	0,33	-0,39	0,40	0,34	-6,57	
Boarnet		1,33	0,37	-0,30	0,26	0,34	-6,11	
Funzione potenza		0,60	0,44	0,25	-0,22	0,46	-5,50	
Cliff e Ord		-1,24	-0,12	-0,17	-0,20	-0,48	-2,71	
Torre primo ordine		-0,35	0,00	-0,21	0,00	-0,21	-3,88	
AMOEBAp		-0,35	0,00	-0,20	0,04	-0,16	-3,93	
AMOEBA		-0,35	0,00	-0,20	0,04	-0,16	-3,93	
	San Giovanni al Natisone (cod. ISTAT 30101)							
Contiguità con soglia	-2,00	-0,14	-0,48	-2,10	-0,38	-2,96	0,12	-4,99
Esponenziale negativa		-3,85	-0,81	-2,28	0,53	-2,56	3,43	
Molho, Mitchell *et al.*		-4,07	-0,77	-2,21	0,51	-2,47	3,55	
Case *et al.*		0,82	-0,92	-3,06	0,17	-3,81	0,01	
Boarnet		1,81	-1,22	-6,51	1,50	-6,23	1,44	
Funzione potenza		-0,71	-0,32	-0,88	-0,61	-1,82	-0,45	
Cliff e Ord		-7,20	-0,20	-0,22	0,49	0,07	4,14	
Torre primo ordine		-6,56	-0,19	-0,72	0,28	-0,64	4,22	
AMOEBAp		-9,43	0,17	0,70	1,36	2,23	4,22	
AMOEBA		-9,43	0,17	0,70	1,36	2,23	4,22	

FONTE: elaborazione propria su dati ASIA-ISTAT

cordanza delle scomposizione ottenute basandosi sul caso torre di primo ordine e le due procedure AMOEBA convergenti sono ancora più simili, nonostante i vicinati siamo decisamente diversi.

Un ultimo risultato qui proposto, seguendo il filone di studio originario del modello ibrido (2), riguarda il *core* del distretto industriale della sedia costituito sostanzialmente da Manzano e San Giovanni al Natisone i cui *ecotope* sono rappresentati in Figura 5. Se il loro stretto legame, in termini di scomposizione *shift-share*, è già stato messo in evidenza in altri lavori, a partire da Zaccomer (2006), si vuole verificare ora se, alla luce delle procedure AMOEBA, questa mutua relazione viene conservata. Infatti, prima di tutto va detto che le due procedure convergono al medesimo risultato: l'osservazione dell'*ecotope* porta ad un vicinato piuttosto articolato, che in parte non rispetta la perimetrazione distrettuale (ad esempio con l'esclusione di Buttrio, Trivignano Udinese e San Vito al Torre), ma presenta un interessante caratteristica di "complementarietà", ossia non solo la relazione di "dualità" viene mantenuta (Manzano ricomprende San Giovanni nel proprio vicinato e viceversa), ma le restanti UT sono le medesime. Il risultato è interessante poiché oltre a mantenere l'unitarietà del *core* industriale, mostra come differenti indicatori da quelli individuati a livello legislativo, possono portare ad *ecotope* ben diversi dalla perimetrazione ufficiale del distretto. Infine, l'osservazione delle scomposizioni portano a risultati più articolati, e spesso non coincidenti con i risultati prima evidenziati, ma si ricorda si tratta di strutture economiche molto diverse, sia in termini dimensionali che qualitativi, quindi non comparabili con le realtà urbane poiché rappresentano un caso di attività manifatturiera molto concentrata in un determinato settore, così come vuole la definizione stessa di distretto industriale.

FIGURA 5 – Carta degli *ecotope* di Pordenone (a sinistra) Udine (a destra). Soluzioni convergenti per gli algoritmi AMOEBA e AMOEBAp

FONTE: elaborazione propria su dati ASIA-ISTAT

7. Considerazioni conclusive e sviluppi futuri

I risultati, in particolare quelli delle maggiori realtà urbane, quali Udine e Pordenone che non presentano grossi problemi in termini di dati mancanti e di strutture economiche molto sbilanciate come quelle dei comuni di piccola dimensione o quelli appartenenti ad un distretto industriale, hanno messo in evidenza come l'algoritmo AMOEBA, attraverso le modifiche qui proposte, possa costituire uno strumento di maggiore dettaglio nella costruzione della matrice dei pesi rispetto alla soluzione legata alla mera contiguità di primo ordine del tipo torre. Quanto appena emerso vale soltanto se l'algoritmo non porta ad *ecotope* nulli, come nel caso di Gorizia e Monfalcone, o comunque di bassa numerosità, come il caso di Trieste, casi per cui la scomposizione risulta degenere oppure può presentare valori anomali. In tali casi è consigliabile continuare ad utilizzare scomposizioni basate sui sistemi di pesi presentati nel par. 3. Inoltre, i risultati degli algoritmi AMOEBA nel caso del distretto della sedia, non solo hanno confermato il riemergere del legame del *core* distrettuale, ma hanno anche dimostrato come la scelta degli indicatori sia fondamentale poiché scelte diverse portano a perimetrazioni ben diverse da quella legislativa.

Se questa è una sintesi estrema dei risultati emersi in questo lavoro, a questo punto si vorrebbe mettere in evidenza una considerazione di carattere più generale maturata sin dall'inizio di questo studio: solo studiando le realtà con un forte dettaglio territoriale emergono tutti i difetti e i limiti degli strumenti quantitativi spaziali. Infatti, tornando alla *Spatial Shift-Share Analysis*, molte delle applicazioni presenti in letteratura riguardano livelli territoriali più elevati come l'utilizzo della Provincia, o peggio della Regione, come UT in un contesto di macro-regione o nazionale, oppure quello della Nazione in un contesto europeo. Questi casi sono meno problematici perché non presentano matrici molto sparse o strutture economiche fortemente distorte. Con queste applicazioni, di livello territoriale aggregato, è sicuramente possibile studiare come si comporta lo strumento in "condizioni favorevoli", ma solo con un dettaglio territoriale più fine si può studiare il comportamento dello strumento statistico in "condizioni estreme" al fine di acquisire una padronanza molto più consapevole dello strumento stesso. Quest'ultima osservazione è valida anche nella costruzione dei vicinati che, nei casi territoriali più aggregatati, risultano decisamente più stabili poiché la numerosità delle UT è generalmente limitata.

Nel momento in cui la numerosità delle UT considerata è notevole, lo strumento cartografico diventa fondamentale non solo dal punto di vista informativo, ma anche per la stessa interpretazione dei modelli che, essendo spaziali, forniscono risultati estremamente legati alle ipotesi contenute nelle matrici dei pesi spaziali, originando il ben noto problema della loro robustezza. Restando all'interno del lavoro qui presentato, la flessibilità dello strumento cartografico integrato all'interno della procedura di scomposizione *shift-share* risulta notevole poiché, non solo è assolutamente necessario per la costruzione delle grandezze implicate nella determinazione delle matrici dei pesi spaziali, e quindi dei tassi di crescita del vicinato, ma consente anche di seguire la costruzione degli *ecotope*, permettendo quindi un'interpretazione più fine, e meno acritica, delle componenti della scomposizione.

I prossimi sforzi della ricerca riguarderanno, non solo l'individuazione e il confronto di nuovi metodi per la costruzione dei pesi spaziali, ma anche la robustezza dei risultati della scomposizione rispetto al cambio dei livelli di classificazione delle attività economiche e delle forme di impresa. Infatti, se per il modello classico di Dunn questo tipo di studio è già stato portato a termine, manca ancora una simile analisi condotta sul modello ibrido. Infine, si segnala che è già in corso di studio la possibilità di applicare questo modello ad una situazione di rete. La specificazione di una *Network Shift-Share Analysis* presenta due ordine di problemi: il primo legato alla costruzione della matrice dei pesi, il secondo legato al fatto che ora si deve lavorare con variabili di flusso, non più di stock come nel presente lavoro. Mentre per il primo di questi problemi esistono già degli strumenti, come la teoria dei grafi, che permette di trovare soluzioni efficienti come la ricerca del MST oppure soluzioni più contestuali come quella contenuta nel pionieristico lavoro di Nystuen e Dacey (1961), il secondo aspetto è un po' più delicato da trattare perché dipende strettamente dal tipo di flusso oggetto di studio e, soprattutto, dalla disponibilità di dati disaggregati per chiavi di scomposizione.

Bibliografia

ALDSTADT J. e GETIS A., (2004), Constructing the spatial weights matrix using a local statistics, "Geographical Analysis", 36, 2, pp. 90-104.

ALDSTADT J. e GETIS A., (2006), Using AMOEBA to create a spatial weights matrix and identify spatial clusters, "Geographical Analysis", 38, pp. 327-343.

ANSELIN L. (1988), Spatial Econometrics: Methods and Models, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

ANSELIN L. (1995), Local indicators of spatial association LISA, "Geographical Analysis", Ohio State University Press, 27, pp. 93-115.

ARCELUS F.J. (1984), An extension of shift-share analysis, "Growth & Change", 15, pp. 3-8.

ARLINGHAUS S.L. (ed.) (1996), Practical Handbook of spatial statistics, CRC Press, Boca Raton.

BADALONI M. e VINCI E. (1988), Contributi all'analisi dell'autocorrelazione spaziale, "Metron", 46, pp. 119-140.

BIVAND R., KEITT T., ROWLINGSON B., PEBESMA E., SUMNER M., Hijmans R. e ROUAULT E. (2014), Package 'rgdal', v 09-1, URL: http://cran.r-project.org/web/packages/rgdal/index.html, data di ultima consultazione: 23/10/2014.

BOARNET M. G. (1998), Spillovers and the locational effects of public infrastructure, "Journal of Regional Science", 38, pp. 381-400.

BONAZZI E. e SANSONI M. (2008), Evaluation of the level of Green House Gas emissions in Emila-Romagna region: a statistical shift share analysis to develop the decision support systems, "Valutazione Ambientale", 13, pp. 18-25.

BORRUSO G. (2011), Geografie di rete. Infrastrutture, regioni, città, Pàtron, Bologna.

BRACALENTE B. (1991), Analisi di dati spaziali, in Marbach G. (a cura di), Statistica economica, UTET, Torino, pp. 277-299.

CASE A.C., ROSEN H.S., HINES R.H. Jr. (1993), Budget spillovers and fiscal policy interdependence: Evidence from the states, "Journal of Public Economics", 52, pp. 285-307.

CLIFF A.D. e ORD J.K. (1981), Spatial process, Models and Applications, Pion, London.

DUNN E.S. (1960), A statistical and analytical technique for regional analysis, "Paper and Proceedings of the Regional Science Association", 6, pp. 97-112.

DUQUE J.C., ALDSTADT J., VELASQUEZ E, FRANCO J.L. e BETANCOURT A. (2011), A computationally efficient method for delineating irregularly shaped spatial clusters, "Journal of geographical systems", 13, 4, pp. 355-372.

ESTEBAN-MARQUILLAS J.M. (1972), Shift and share analysis revisited, "Regional and Urban Economics", 2, pp. 249-261.

FARAMONDI A. (2006), Un nuovo approccio all'analisi delle componenti locali e strutturali, "Rivista di Statistica Ufficiale", 3, ISTAT, Roma, pp. 37-50.

FINGLETON B. (2001), Equilibrium and economic growth: spatial econometric models and simulations, "Journal of Regional Science", 41, pp. 117-147.

GETIS A. (2009), Spatial weight matrices, "Geographical Analysis", 41, pp. 404-409.

GETIS A. e ORD J.K. (1992), The analysis of spatial association by use of distance statistics, "Geographical Analysis", 24, pp. 189-206.

GRIFFITH D.A. (1996a), The need for spatial statistics, in Arlinghaus S.L. (ed.), op. cit., pp. 1-15.

GRIFFITH D.A. (1996b), Some guidelines for specifying the geographic weights matrix contained in Spatial Statistical Models, in Arlinghaus S.L. (ed.), op. cit., pp. 65-82.

MAYOR M. e LÓPEZ A.J. (2005) Spatial shift-share analysis: new developments and some findings for the Spanish case, "Proceedings of the European regional science association", ERSA2005, Amsterdam.

MITCHELL W., MYERS J. e JUNIPER, J. (2005), Extending shift-share analysis to account for spatial effects: A study using Australian census data, Centre of Full Employment and Equity, CofFEE, working paper, 05-19, Newcastle, Australia.

MOLHO I. (1995), Spatial autocorrelation in British unemployment, "Journal of Regional Science", 35, pp. 641-658.

NAZARA S. e HEWINGS G.J.D. (2004), Spatial structure and taxonomy of decomposition in shift-share analysis, "Growth & Change", 35, pp. 476-490.

NYSTUEN J.D. e DACEY F. (1961), A graph theory interpretation of nodal regions, "Papers and proceedings of the Regional Science Association", 7, pp. 29-42.

ORD J.K. e GETIS A (1995), Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application, Geographical Analysis", 27, 4, pp. 286-306.

PASQUARIELLO M. (2011), Analisi del valore aggiunto pro capite: una tassonomia dei Sistemi Locali del Lavoro italiani attraverso la shift-share analysis con struttura spaziale, "Cybergeo: European Journal of Geography", URL: http://cybergeo.revues.org/23502, data di ultima consultazione: 23/10/2014.

PATUELLI R., REGGIANI A., NIJKAMP P. e BLIEN U. (2006), New neural network methods for forecasting regional employment: an analysis of German labour markets, "Spatial Economic Analysis", 1, pp. 7-30.

R CORE TEAM (2013), R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, URL: http://www.R-project.org, data di ultima consultazione: 23/10/2014.

RAY D.M. (1990), Standardizing employment growth rates of foreign multinationals and domestic firms in Canada: from shift-share to multifactor partitioning, working paper, 62, International Labour Organisation, Geneva.

RIPLEY B.D. (1981), Spatial Statistics, Wiley & Sons, New York.

STETZER F. (1982), Specifying weights in spatial forecasting models: the results of some experiments, "Environment and Planning A", 14, pp. 571-584.

TOBLER W.R. (1970), A computer movie simulation urban growth in the Detroit region, "Economic Geography", 46, pp. 234-240.

UNWIN D. (1981), Introductory Spatial Analysis, Methuen & Co. Ltd, London.

UPTON G. e FINGLETON B. (1985), Spatial data analysis by example. Point pattern and quantitative data, Volume 1, Wiley & Sons, New York.

VALLES G. (2014), Package 'AMOEBA', v 1.1, URL: http://cran.r-project.org/web/packages/AMOEBA/index.html, data di ultima consultazione: 23/10/2014.

WIDENER M.J., CRAGO N.C., ALDSTADT, J. (2012), Developing a parallel computational implementation of AMOEBA, "International Journal of Geographical Information Science", 26, 9, pp. 1707-1723.

ZACCOMER G.P. (2006), Shift-share analysis with spatial structure: an application to Italian industrial districts, "Transition Studies Review", 13, 1, Springer, pp. 213-227.

ZACCOMER G.P. (2008), Spatial structure in a shift-share decomposition: new results for the Italian industrial districts case, "Transition Studies Review", 15, 1, Springer, pp. 111-123.

ZACCOMER G.P. e GRASSETTI L. (2008), Spatial shift-share analysis: a comparison based on different weighting systems, "Atti della XLIV Riunione Scientifica SIS", Università della Calabria, 25-27 giugno 2008, volume in CD, file 49.

ZACCOMER G.P. e MASON P. (2008a), A definition of neighborhoods based on local labor systems: a regional application on employment data, "Statistica & Applicazioni", 6, 2, pp. 215-236.

ZACCOMER G.P. e MASON P. (2008b), L'impiego dell'archivio ASIA per l'analisi della struttura dell'artigianato del Friuli Venezia Giulia, in Zaccomer G.P., Economia, statistica e territorio. Informazione e metodologia statistica per la conoscenza dell'economia del Friuli Venezia Giulia, Forum, Udine, pp. 207-231.

ZACCOMER G.P. e MASON P. (2011), A new spatial shift-share decomposition for the regional growth analysis: a local study of the employment based on Italian Business Statistical Register, "Statistical Methods & Applications", 3, pp. 329-356.

La localizzazione delle attività economiche nel territorio: concentrazione e polarizzazione dei settori in un'applicazione GIS

The spatial location of firms: distributional clustering and sectorial polarization in a GIS

Francesco Balducci*

Riassunto

In questo lavoro, attraverso un processo di *georeferenziazione*, sono state localizzate tutte le attività economiche presenti nel territorio del Comune di Pesaro, una città di medie dimensioni caratterizzata da un consolidato distretto manifatturiero e da importanti realtà commerciali e turistiche. Dal Sistema Informativo Territoriale (SIT, o *Geographic Information System* – GIS) derivano statistiche economiche e cartografie tematiche che, congiuntamente, descrivono il tessuto imprenditoriale. Le analisi successive elaborate su di esse sono rilevanti e utili agli operatori locali e ai *policy makers*, ai fini strategici, di controllo o di pianificazione, di sviluppo economico o di marketing.
Il lavoro si inserisce nel sentiero di sviluppo della moderna cartografia, intesa come strumento di analisi e non soltanto – riduttivamente – come una rappresentazione statica della realtà. Infatti, sfruttando l'informazione che deriva dalla georeferenziazione e dalle mappe tematiche, l'analisi è stata approfondita per mezzo di tecniche avanzate di *spatial analysis*, quali la *Kernel Density Estimation* (KDE) e la *Ripley's K*. Queste metodologie consentono di studiare la polarizzazione e la densità delle attività economiche nel territorio, analizzando l'interconnessione fra di esse e disaggregando i settori di attività.

Parole chiave

GIS, analisi spaziale, studi locali e regionali, Kernel Density Estimation (KDE), Ripley's K

Abstract

In this research a Geographic Information System (GIS) is constructed using data on firms and businesses located in the municipality of Pesaro, Marche, Italy. Pesaro is a mid-sized town, characterized by a remarkable industrial district – furniture manufacturing – and tourism. Combining economic evaluations with descriptive statistics and sectorial mapping, the spatial location of firms is analysed throughout the paper. The spatial analysis is then deepened by means of advanced techniques such as the Kernel Density Estimation *(KDE) and the Ripley's K. The paper follows the path of modern cartography – intended as a tool of analysis rather than a mere representation of reality – and contributes to the existing literature. The results show how sectors tend to cluster unlikely, with significant distributional differences. The observed differences are explained mainly by the characteristics of firms, such as dimension and the sector of activity. The results are interesting to policy makers and local administrators for urban planning, industrial policy, economic development strategy and marketing.*

Keywords

GIS, spatial analysis, local and regional studies, Kernel Density Estimation (KDE), Ripley's K

* Francesco Balducci (francesco.balducci@hotmail.com) è dottore di ricerca in Economia Politica ed ha svolto attività didattica e di ricerca presso l'Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze Economiche e Sociali (DI-SES).

Il web-GIS e le cartografie tematiche presenti in questo lavoro sono disponibili online al link: http://141.138.81.246/fv2011/index.html?config=configimprese.xml.

1. Introduzione

Realizzare un *Sistema Informativo Territoriale* (SIT) o *Geographic Information System* (GIS) è importante per i soggetti che operano sul territorio, soprattutto nel contesto economico attuale in cui la rapidità di accesso, consultazione e analisi delle informazioni è fondamentale in un'ottica di sviluppo e competitività. Alla progressiva informatizzazione dei contenuti dovrebbe seguire una sempre maggiore *interconnessione* fra gli stessi – una caratteristica peculiare dei sistemi GIS. In una società complessa e interrelata le scelte di *policy* dovrebbero tener conto di queste interazioni, evitando di ragionare su frammenti isolati della realtà. Ciò è vero in particolar modo nell'ambito socio-economico, sebbene in Italia le applicazioni e la ricerca GIS in questo settore siano ancora poco sfruttate rispetto al loro potenziale.

In questo lavoro vengono raccolti ed elaborati, attraverso un Sistema Informativo Geografico (GIS), dei dati geografici relativi al tessuto economico e produttivo del territorio del Comune di Pesaro. In questo caso, le realizzazioni cartografiche sono funzionali ad analisi economiche e urbanistiche, basate sulla diffusione territoriale delle imprese, sulle loro caratteristiche e sulle dinamiche di localizzazione interne ai settori.

La scelta di localizzazione da parte delle imprese è una strategia complessa e ampiamente dibattuta nella letteratura scientifica. Senza addentrarsi nel dettaglio delle motivazioni teoriche alla base di tale scelta, si ricordano di seguito solo alcuni concetti fondamentali. Innanzitutto, le differenze nella distribuzione spaziale delle imprese, che si osservano chiaramente in questa applicazione, possono essere imputabili ai cosiddetti "effetti del prim'ordine", ovvero alle caratteristiche morfologiche del territorio, del clima, alla disponibilità di infrastrutture ecc. Queste ragioni, evidentemente, sono maggiormente significative per applicazioni a livello nazionale o su larga scala. Tuttavia, è stato ampiamente dimostrato che, anche in assenza di rilevanti effetti del primo ordine, alcune tipologie produttive tendono ad addensarsi seguendo delle economie di scala interne ai settori, sfruttando i vantaggi comparati o specializzandosi completamente (Krugman, 1980). In questo senso, dal punto di vista economico, la localizzazione diventa una delle scelte possibili per massimizzare il profitto dell'impresa, attraverso una prossimità alle fonti di materie prime, o un più facile accesso alle infrastrutture o ai mercati di sbocco. Un altro elemento rilevante, soprattutto in analisi urbane e di piccola scala (per cui non esistono significativi elementi di differenziazione del prim'ordine), deriva dalla minimizzazione dei costi di affitto o di edificazione degli stabili industriali e degli esercizi commerciali. Anche la mobilità dei fattori produttivi gioca un ruolo determinante: ad esempio la tendenza dei lavoratori a spostarsi verso zone centrali in cui i salari sono più elevati e le opportunità lavorative maggiori (Fujita, 1999). Da ultimo, sebbene sia complesso identificarli, separandoli dall'evidenza complessiva, non andrebbero trascurati gli effetti *network*, di interazione fra imprese simili che possono fare rete, trasferirsi *know-how* e sfruttare sinergie o canali di approvvigionamento o di sbocco condivisi. Ad esempio, nel caso dei distretti industriali, caratteristici dell'area studiata in questo lavoro, gli *spill-over* e le ricadute sui sistemi economici territoriali sono importanti.

Dal punto di vista empirico molti lavori hanno testato le teorie appena discusse, osservando la distribuzione territoriale delle imprese a livello nazionale (Fedderke e Wollnik, 2007; Devereux et al., 2004). Albert, Casanova e Orts (2013), applicando tecniche analoghe a quelle qui utilizzate (come la funzione *Ripley's K*), studiano l'addensamento delle attività economiche in Spagna mostrando come, contrariamente a quanto previsto dalla teoria economica, siano i settori relativamente "*low-tech*" ad addensarsi maggiormente (ad esempio le lavorazioni tessili e di pellami). Fra gli studi regionali e locali, le tecniche di *Kernel Density Estimation* (KDE) sono sfruttate ampiamente, ad esempio per identificare i *Central Businness District* a livello urbano (Borruso, 2008), o per studiare la densità di bar e locali, con lo scopo di regolamentare la concessione di licenze (Limonta, 2014).

I risultati ottenuti in questo lavoro sono utili per ulteriori analisi territoriali o applicazioni cartografiche. Emerge una visione unitaria e completa della collocazione delle attività economiche nel comune di Pesaro, per mezzo di una banca dati georeferenziata che può essere consultata, aggiornata o espansa. Da essa è possibile studiare i processi di addensamento, localizzazione o diffusione effettuati dagli agenti economici. Infine, gli

scenari analizzati possono essere sfruttati per interventi di pianificazione, per regolamentare lo sviluppo locale, o per intervenire su casi specifici.

L'articolo è strutturato come segue. Nel Paragrafo 2 sono descritti i dati di base e il processo di georeferenziazione. Nel terzo paragrafo viene condotta un'analisi statistico-descrittiva delle caratteristiche delle imprese, in parallelo con una rappresentazione cartografica di esse nel contesto territoriale. Emergono dei risultati interessanti sui profili delle attività economiche in relazione alla localizzazione, e sulle diverse capacità di risposta dei settori alla recente crisi economico-finanziaria. Nel paragrafo quarto, infine, viene realizzata un'analisi territoriale approfondita attraverso tecniche avanzate di *spatial analysis*, descrivendone in dettaglio la metodologia. Nello specifico viene calcolata la densità delle attività economiche, evidenziando le differenze interne ai settori. Il paragrafo cinque conclude.

2. Descrizione dei dati e georeferenziazione

I dati derivano dall'estrazione del database del Registro delle Imprese (RI), gestito dalla Camera di Commercio di Pesaro-Urbino. Il registro è onnicomprensivo e ha caratteristiche di censimento, dal momento che ogni soggetto economico è tenuto ad iscrivervisi obbligatoriamente. Il *dataset* è riferito alle attività economiche presenti sul territorio del Comune di Pesaro e contiene informazioni generali sull'anagrafica delle imprese, quali la denominazione, il numero di addetti, il capitale sociale, l'indirizzo aziendale ed altri dati di riferimento. L'attività esercitata è riassunta da codici identificativi, classificati secondo lo standard ATECO 2007 (ISTAT, 2008)[1]. I dati rappresentano un'istantanea all'anno 2013 dello stock di attività economiche registrate e, generalmente, non hanno una dimensione temporale. Tuttavia, alcune variabili – quali l'anno di iscrizione nel registro, o le date di eventuale fallimento – consentono alcune valutazioni intertemporali.

La Tabella 1 illustra la composizione dei dati di riferimento: le attività economiche complessivamente registrate sono 12498; di queste, oltre diecimila (l'83%) hanno la sede legale collocata nel territorio comunale[2].

L'area di studio, il comune di Pesaro, riguarda una città di medie dimensioni (circa centomila abitanti), di rilevanza strategica all'interno della regione (è il secondo comune delle Marche, capoluogo di Provincia) e dell'Italia Centrale. Il territorio è affacciato sul mare e attraversato dal fiume Foglia, che genera una zona pianeggiante e ampiamente urbanizzata, racchiusa da colline sulla costa. La città è caratterizzata da numerose presenze turistiche, favorite dalla posizione litoranea e dai monumenti del centro storico, e da una nota realtà industriale, che si configura nel noto "distretto del mobile" (ufficialmente riconosciuto). Insieme ad alcuni comuni circostanti, infatti, Pesaro è caratterizzata un'industria manifatturiera di rilievo: la specializzazione è nella produzione di mobili, che raggiunge il 7% del totale di quelli prodotti in Italia, e il 14% nel caso delle cucine componibili[3]. Altra specificità produttiva è quella dei motori, motocicli e biciclette.

Per realizzare le mappe e le analisi territoriali, è stato necessario un preventivo processo di *georeferenziazione*[4]. Per georeferenziare le attività economiche si è fatto riferimento all'indirizzo stradale della sede aziendale presente nel Registro delle Imprese. Inoltre, dal momento che la georeferenziazione dei numeri civici era già a disposizione del S.I.T. del Comune (come *shapefile* di punti), è stato possibile collegare le due banche dati attraverso un *join* di tipo *one-to-many* (in quanto ai codici univoci dei numerici civici possono corrispondere una o più imprese). I processi di bonifica e normalizzazione necessari al *matching* fra le due banche dati

1 La classificazione delle attività economiche ATECO (ATtività ECOnomiche) è una classificazione alfa-numerica ad elevato grado di dettaglio (fino alla sesta cifra) adottata dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT).

2 Negli altri casi i dati si riferiscono a varie unità locali (ad es. filiali, parti di impresa, magazzini ecc.), talvolta plurime nel caso delle imprese più grandi. Questa distinzione è rilevante ai fini della successiva analisi territoriale, nella quale saranno rappresentate solo le imprese con sede legale nel comune, al fine di evitare duplicazioni o distorsioni delle informazioni.

3 Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/Pesaro#Economia.

4 Per *georeferenziazione* si intente "la procedura software che consiste nel posizionare, mediante punti a coordinate note (punti di controllo), dati vettoriali o un'immagine raster nella rispettiva zona del territorio reale, secondo un determinato sistema di riferimento" (ESRI Italia)

TABELLA 1 – Attività economiche per sede, macro-settore di attività (sezioni ATECO), e classificazione dimensionale per dipendenti e capitale sociale

	Num.	%
Attività economiche		
Totale attività economiche	12,498	
– sedi aziendali	10,362	82.9
– unità locali	2,136	17.1
Macro-settori di attività (ATECO)		
Commerciale (G)	3,463	27.7
Costruzioni / Edilizia (F)	1,676	13.4
Manifatturiero (C)	1,480	11.8
Attività Immobiliari (L)	947	7.6
Alberghiero e ristorazione (I)	846	6.8
Attività professionali e tecniche (M)	566	4.5
Agricolo (A)	523	4.2
Attività di servizi (S)	480	3.8
Trasporti / Magazzinaggio (H)	436	3.5
Settore non specificato (X)	664	5.3
Altri settori (Z)	1,417	11.3
Finanza e assicurazioni (K)	360	2.9
Agenzie viaggio / Supporto aziendale (N)	313	2.5
Informazione e comunicazione (J)	287	2.3
Classi di dipendenti (classificazione ISTAT)		
Nessun dipendente	4,852	49.7
Un dipendente	1,375	14.1
Da 1 a 10 dipendenti	2,546	26.1
Da 10 a 50 dipendenti	736	7.5
Da 50 a 250 dipendenti	187	1.9
Oltre 250 dipendenti	74	0.8
Piccole imprese		
Imprese unipersonali	6227	49.8
Micro-imprese (fino a 5 dipendenti)	7,909	63.3
Classi di capitale sociale		
Nessuno/Non specificato	5,264	42.1
Fino a 10.000	1,657	13.3
Da 10.000 a 20.000	2,763	22.1
Da 20.000 a 50.000	1174	9.4
Da 50.000 a 100.000	673	5.4
Da 100.000 a 500.000	456	3.7
Oltre 500.000	511	4.1

FONTE: elaborazioni dell'autore su dati Camera di Commercio di Pesaro-Urbino

hanno richiesto un notevole sforzo, a causa dell'elevata disomogeneità nella registrazione degli indirizzi (circa 12500, da relazionare con oltre 35mila numeri civici) e alla struttura non normalizzata del database sulle imprese. In particolare gli interventi più consistenti hanno riguardato la corrispondenza fra i nomi via negli stradari[5] e l'estrazione del sub-civico (es. civici nella forma "10/A" o "5/2")[6].

3. Le attività economiche: caratteristiche e localizzazione

3.1. Distribuzione territoriale delle attività

Sulla base della georeferenziazione è stato possibile rappresentare in mappa le imprese[7]. Nella Figura 1 le attività economiche sono indicate dai punti di colore giallo, in sovrapposizione a un modello digitale del terreno (*Digital Elevation Model* – DEM). La collocazione delle attività economiche in relazione alle caratteristiche morfologiche del territorio è evidente: gli addensamenti maggiori sono nella zona pianeggiante generata dal fiume Foglia e nell'area commerciale e industriale al centro della mappa (Villa Fastiggi/Villa Ceccolini).

Nella Figura 2, degli istogrammi evidenziano le quote relative di attività economiche e di numeri civici (sui rispettivi totali). Si nota chiaramente che nei quartieri

5 Per estendere i possibili collegamenti fra i dati (*matching*), è stata confrontata *contemporaneamente* l'uguaglianza fra varie modalità di esprimere il nome della via (abbreviata o puntata, estesa ecc.), attraverso un comando MS Access definito da un'istruzione SQL. In questo modo è stata trovata una corrispondenza "automatizzata" per l'87% dei record (10884 su 12498).

6 Spesso, infatti, la barra o il trattino non indicavano effettivamente il sub-civico, ma dei civici multipli (ad es. con la dicitura "10/15" per indicare "numeri civici dal 10 al 15"). Un metodo utilizzato per automatizzare la procedura di distinzione di questi casi è stato quello confrontare i due numeri prima e dopo la barra: se i numeri sono simili, nel senso che il secondo supera di poco il primo (ad es. entro le cinque unità), è probabile che si tratti di un civico ripetuto piuttosto che di un sub-civico. L'opposto nel caso in cui i numeri sono molto "distanti" (ad es. nei casi del tipo: "15/2" o "123/8"). In questo modo si è riusciti a separare gran parte dei casi in maniera automatizzata.

7 Le elaborazioni, le rappresentazioni e le analisi sono state realizzate con il pacchetto software *ESRI ArcGIS (ArcMap, ArcCatalog, ArcScene)*. Il sistema di riferimento adottato è il *Gauss-Boaga* (Monte Mario-Italy 2).

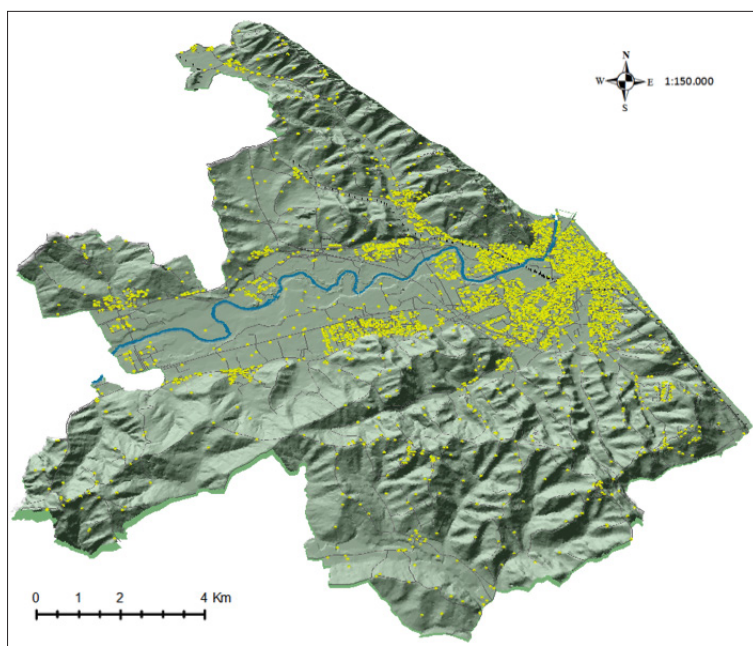
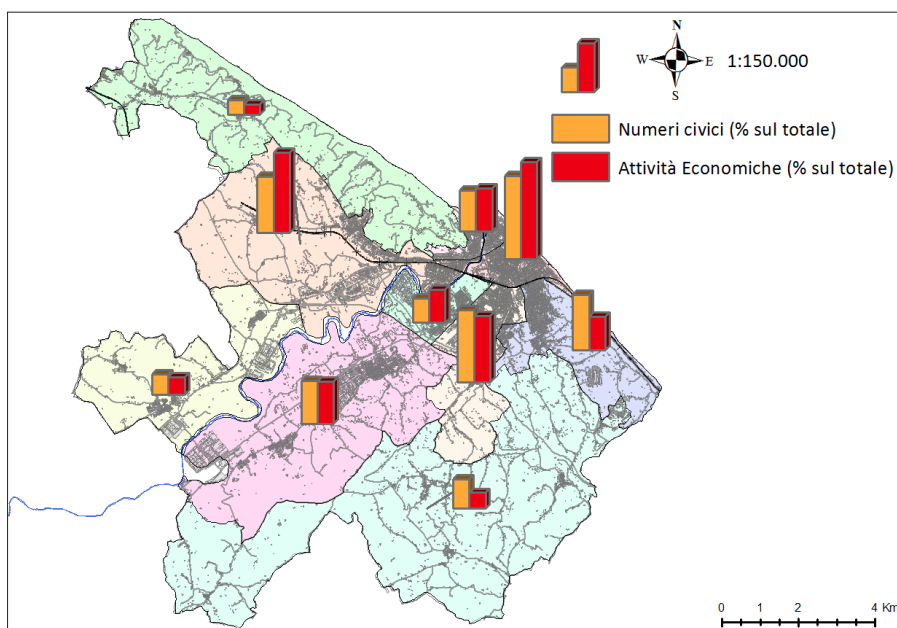
FIGURA 1 – Collocazione delle attività economiche in un modello digitale del terreno (DEM)

FONTE: elaborazioni dell'autore su dati Comune di Pesaro e Camera di Commercio di Pesaro-Urbino. Scala 1:150.000

FIGURA 2 – Composizione percentuale di attività economiche e numeri civici, per quartiere

FONTE: elaborazioni dell'autore su dati Comune di Pesaro e Camera di Commercio di Pesaro-Urbino

più urbanizzati (quelli centrali), rispetto a quelli periferici, è maggiore la quota relativa di numeri civici. Confrontando le altezze relative degli istogrammi si delineano i quartieri a carattere prevalentemente industriale/commerciale, ovvero quelli in cui le colonne rosse (riferite alla quota relativa di attività) sono più alte. Viceversa, i quartieri periferici a sud della mappa, sono collinari, meno urbanizzati e a carattere prevalentemente residenziale.

3.2. L'attività esercitata dalle imprese

Fra le sezioni ATECO (Tabella 1), la principale per numerosità, con il 27.7% del totale, è quella riferita alle attività commerciali (sia all'ingrosso che al dettaglio, comprensiva delle riparazioni di veicoli). È rilevante che al terzo posto, dopo i settori commerciale ed edile, si trovi il settore manifatturiero (circa 1500 attività, 11.8% del totale): ciò evidenzia la vocazione industriale di Pesaro e, più in generale, della regione Marche[8].

All'interno del settore manifatturiero emerge il "distretto del mobile", specializzazione produttiva del territorio. I mobilifici sono la prima categoria, con il 25% del settore. Inoltre, alle manifatture di mobili in senso stretto si aggiungono le altre imprese che, indirettamente, rientrano nel distretto mobiliere, quali l'industria del legno (falegnamerie, fornitori di legname ecc.), le fabbricazioni di prodotti in metallo (componenti o parti per mobili, cerniere, serrature ecc.), la riparazione e fabbricazione di macchine utensili e attrezzature, ecc.

Dai dati emerge che il distretto è interconnesso profondamente sia "a valle" del processo produttivo (nel settore commerciale o della distribuzione del prodotto), che "a monte" (in termini di progettazione, design, consulenze tecniche). Infatti, si riscontrano quote elevate di attività professionali a supporto delle imprese, come il design industriale e tecnico, la fotografia industriale e i servizi di traduzione (richiesti dalle imprese manifatturiere che operano sui mercati esteri). In questo modo, la manifattura di mobili trascina l'occupazione di personale qualificato, favorendo lo sviluppo economico locale. All'interno del commercio all'ingrosso, inoltre, le sotto-categorie principali sono quelle relative ai mobili, agli articoli per la casa, e ai rappresentanti e fornitori del settore.

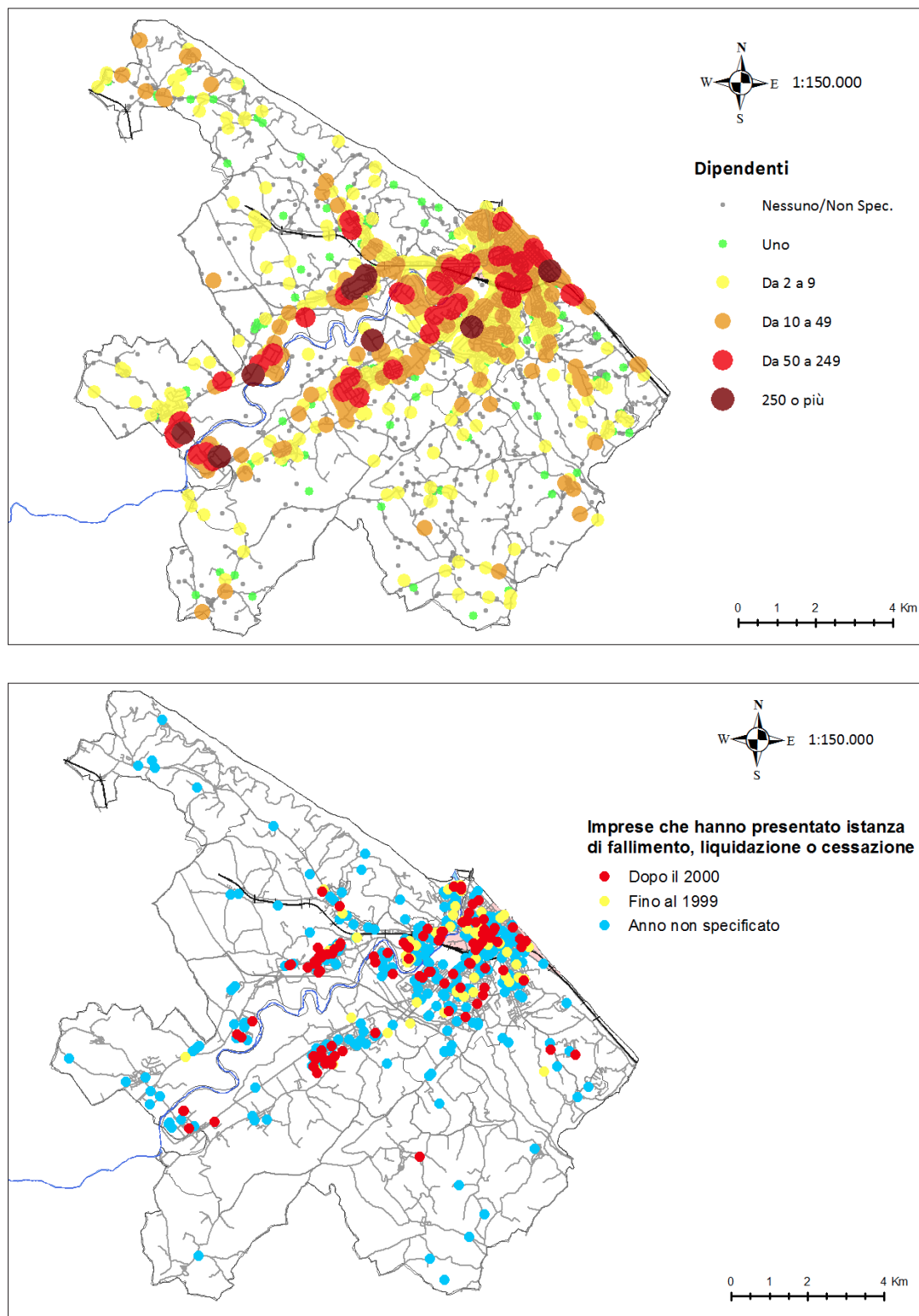
3.3. Analisi dimensionale: addetti e capitale

La dimensione delle attività economiche può essere analizzata suddividendo il campione per numero di dipendenti e capitale sociale (Tabella 1)[9]. La quota percentuale di piccole imprese è elevata: circa metà delle attività economiche non dispone di dipendenti oltre al titolare (imprese unipersonali), mentre il 63% del totale ne ha cinque o meno; complessivamente, il 90% circa delle attività economiche non supera i dieci addetti. Nel territorio sono però insediate anche alcune imprese manifatturiere molto grandi (con oltre mille dipendenti). Questa struttura del sistema imprenditoriale ricalca quella generalmente riscontrata nelle Marche e nel Centro Italia, in cui si riscontrano distretti (o *cluster*) di imprese di piccola dimensione, o a carattere familiare, che complessivamente detengono quote di mercato significative. La Figura 3 (pannello superiore) mostra la distribuzione delle imprese nelle classi di dipendenti. Le imprese grandi, di colore marrone (250 dipendenti o più) e rosso (da 50 a 250 dipendenti), si raggruppano in prevalenza negli agglomerati industriali esterni al centro (Villa Fastiggi / Villa Ceccolini e Cattabrighe / Fabbreccie). Le numerose imprese di piccola dimensione sono invece concentrate nel centro storico (prevalentemente negozi), o distribuite sul territorio nel caso delle aziende agricole.

Dai dati emerge che la relazione fra numero di dipendenti e capitale sociale non è biunivoca: esistono numerose imprese con pochi dipendenti ma dall'elevato capitale sociale. Questo risultato è comune nei sistemi economici sviluppati, in cui sono presenti una forte terziarizzazione dell'economia e una sostanziale immate-

8 Nel settore dei servizi, le attività dei servizi in senso stretto (sezione S) contano per il 3.8% del totale, ma se sommate con altre sezioni, come le attività professionali e tecniche (4.5%), i servizi immobiliari (7.6%) e di agenzia (2.5%), o quelli finanziari (2.3%), si raggiunge una percentuale elevata, che dimostra la terziarizzazione dell'economia avvenuta anche in città di medie dimensioni.

9 Va segnalato che i dati relativi a queste variabili risultano talvolta mancanti o non specificati. I risultati vanno dunque interpretati tenendo conto del fatto che le percentuali potrebbero risultare distorte a vantaggio delle classi nulle (nessun dipendente e nessun capitale), in cui è probabile che ricadono parte dei valori mancanti.

FIGURA 3 – Attività economiche per classi di dipendenti (sopra), e fallite, liquidate o cessate nel tempo (sotto)

FONTE: elaborazioni dell'autore su dati Comune di Pesaro e Camera di Commercio di Pesaro-Urbino

rialità delle attività per cui, anche imprese molto grandi in termini di capitale (o di fatturato), non impiegano un numero di addetti altrettanto elevato per svolgere l'attività, soprattutto se è innovativa e ad alta intensità di capitale *intangible*. Nello specifico, i settori che risultano a più alta intensità di addetti (e basso capitale) sono quelli in cui il ruolo del personale non è sostituibile per mezzo di investimenti in capitale fisico, come l'assistenza sociale, o la ricettività alberghiera.

3.4. Le attività in crisi: fallimenti, liquidazioni e cessazioni

Alcune attività economiche presenti nel Registro delle Imprese hanno registrato, nel corso degli anni, episodi di crisi. Complessivamente 1019 imprese sono fallite (2.4% del totale), liquidate (5.4%) o cessate (0.34%). La maggior parte degli episodi è avvenuta in anni recenti: oltre l'80% dopo il 2000. Per questo motivo, nella Figura 3 (pannello inferiore), la distribuzione delle imprese che hanno sperimentato episodi di crisi è stata distinta nei due periodi. Pur essendo piuttosto omogenea e diffusa sul territorio, infatti, si nota come i punti di colore rosso (fallimenti avvenuti dopo il 2000) siano più concentrati nelle zone industriali del distretto mobiliere (al centro della mappa e a nord del fiume Foglia). La mappa documenta una realtà nota sul territorio, secondo cui gli effetti della crisi economica sull'industria manifatturiera e del mobile sono stati consistenti negli ultimi anni.

Il fallimento avviene, prevalentemente, dopo quattro anni dall'inizio dell'attività; la liquidazione dopo tre. Il fenomeno riguarda quindi imprese non ancora del tutto consolidate. Le impresse fallite, liquidate o cessate, hanno complessivamente un numero medio inferiore di dipendenti (6 contro 10 della media generale) e di capitale sociale.[10] I settori in cui più frequentemente le imprese si sono trovate in crisi sono l'industria del mobile (fabbricazione di mobili e di prodotti in metallo, industria del legno) e il settore delle costruzioni, mentre quelli in cui la percentuale di imprese fallite è relativamente più bassa sono quelli "tradizionali", come le aziende agricole, la ristorazione e i servizi alla persona. È interessante osservare, a tal proposito, che le imprese che hanno iniziato l'attività negli anni centrali della crisi economica (il biennio 2007-2009), sono state prevalentemente quelle legate all'economia reale, più impermeabili – almeno secondo la percezione diffusa – alle congiunture finanziarie: hanno infatti guadagnato quote percentuali relative le attività manuali edili (muratori), i bar e le aziende agricole. Negli stessi anni, invece, la quota relativa del settore manifatturiero è scesa di due punti percentuali.

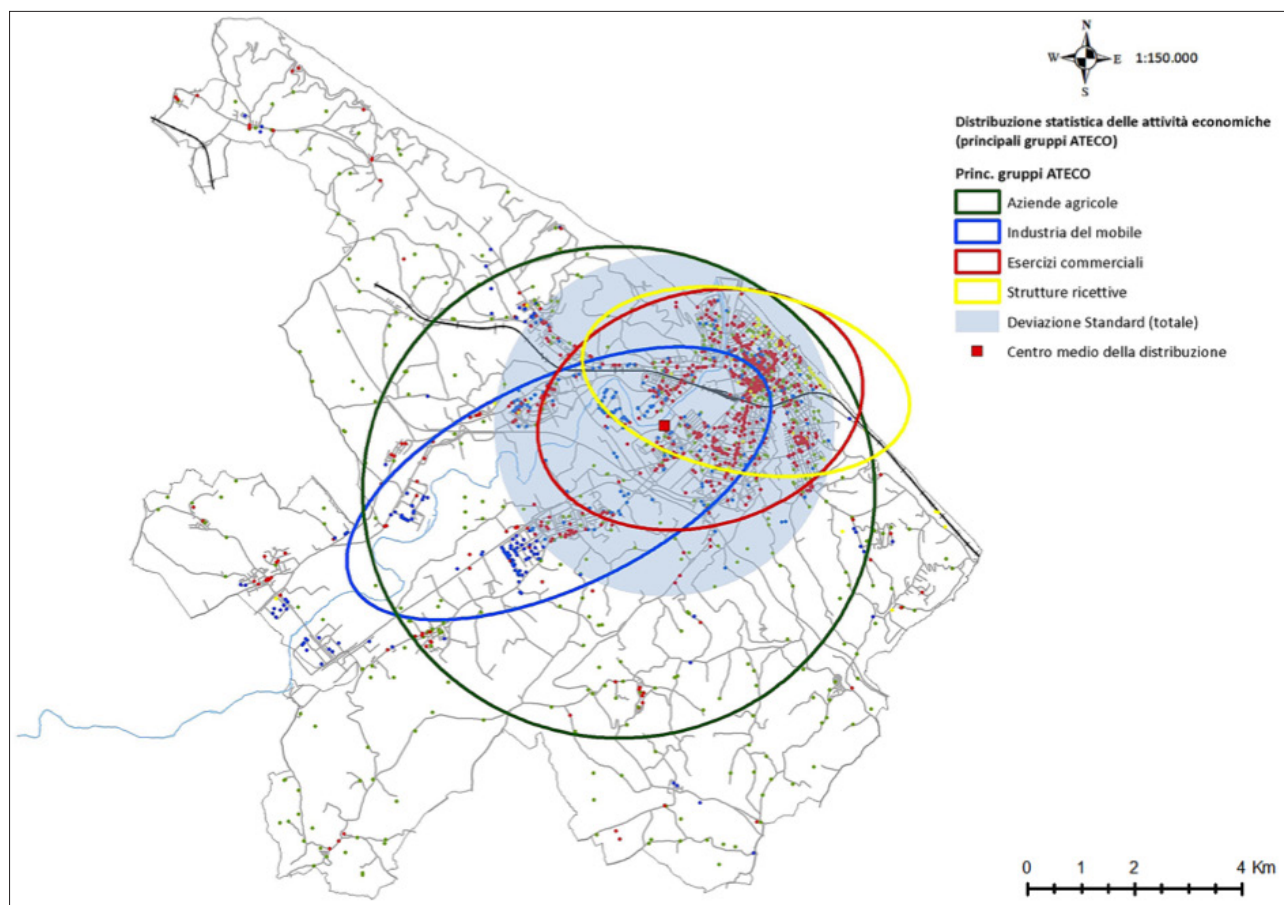
4. Analisi territoriale e *spatial statistics*: metodologie e risultati

La lettura dei dati di carattere descrittivo commentata nel capitolo precedente può essere approfondita e formalizzata per mezzo di tecniche di *statistica spaziale*. I vantaggi di questi approfondimenti sono molteplici: innanzitutto, si realizzano degli indicatori statistici di misura della distribuzione, superando l'arbitrarietà dell'analisi visuale.[11] Per mezzo dell'interpolazione su una superficie continua della densità dei punti, poi, si identificando e si quantificano le aree soggette maggiormente ai fenomeni di addensamento *per ogni porzione del territorio*. Inoltre, nel caso di misure di densità come quella adottata nel prosieguo (KDE), si considera l'effettiva concentrazione dei punti nel territorio, trascurando i limiti amministrativi non significativi nei fenomeni reali e tenendo conto delle aree in cui i punti risultano molto addensati o sovrapposti.[12] Inoltre, dal momento che la tecnica utilizzata può pesare maggiormente gli oggetti vicini fra loro rispetto a quelli lontani, si riesce a tener conto in parte dei fenomeni di interazione e

10 Tuttavia, la classe dimensionale in cui rientra il maggior numero di imprese in crisi non è quella delle micro-imprese, ma quella con un numero di addetti compreso fra cinque e dieci. Quindi, il profilo tipico delle imprese in crisi descrive delle attività di piccola dimensione o a carattere familiare (spesso facenti parte dell'industria del mobile o dell'edilizia), che non risultano sufficientemente grandi da resistere alle fluttuazioni dei mercati, ma neanche flessibili e adattabili come quelle unipersonali.

11 Ad esempio si può attribuire un punteggio di densità ad ogni area, che potrebbe essere utilizzato per successive sovrapposizioni e interpolazioni. In questo modo è possibile, ad esempio, collegare i punti sulla mappa con altri dati statistici o geografici.

12 Questa caratteristica è molto utile nel caso in questione in cui, spesso, diverse attività economiche risultano inserite in uno stesso numero civico (ad esempio all'interno di un centro commerciale), e in cartografia appaiono accorpate in un singolo punto.

FIGURA 4 – Distribuzione geografica delle attività economiche (principali gruppi ATECO)

FONTE: elaborazioni dell'autore su dati Comune di Pesaro e Camera di Commercio di Pesaro-Urbino

collegamento fra attività economiche limitrofe (effetti di secondo ordine)[13]. Infine, nei casi in cui la densità viene ponderata sulla base di altri fattori, come la dimensione delle imprese, è possibile visualizzare effetti di interazione, o altre relazioni complesse, in una semplice cartografia.

Un primo modo di misurare la distribuzione dei punti di interesse (*point pattern*), è calcolare delle statistiche descrittive, come il *centro medio della distribuzione* e i *cerchi* (o ellissi) di *distribuzione*[14]. Nella Figura 4 il *centro medio* (quadrato rosso) e il *cerchio di deviazione*

13 Rispondendo ad uno dei principi cardine del moderno studio della geografia e del territorio, riassunto nella cosiddetta *legge di Tobler* (1970): "*Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things*" (Trad.: "ogni cosa è correlata ad un'altra, ma le cose più vicine fra loro sono più correlate rispetto a a quelle lontane") e catturando in parte gli effetti di *secondo ordine* (l'interazione fra gli eventi) e non soltanto quelli di *primo ordine* (ovvero la distribuzione determinata dalla morfologia del territorio).

14 Il *centro medio* della distribuzione (*s*) è il punto che si ricava come media delle coordinate (*x* e *y*) di tutti i punti (*n*); in altri termini, le coordinate del centro *s* sono la media di quelle di tutti gli altri punti (μ_x e μ_y):

$$\bar{\mathbf{s}} = (\mu_x, \mu_y) = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} \right)$$

Il *cerchio di deviazione standard* misura la dispersione dei punti attorno al centro medio; è quella circonferenza che ha come raggio la *distanza standard d* (e come centro quello medio dei punti *s*):

$$d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu_x)^2 + (y_i - \mu_y)^2}{n}}$$

standard (area circolare azzurra) sono riferiti alla distribuzione complessiva dei punti, che si concentrano nella fascia centrale della mappa, lungo il fiume Foglia. Sebbene l'addensamento maggiore sia nella zona centrale della città, il cerchio di deviazione standard tiene conto della dispersione complessiva nella distribuzione dei punti e quindi è influenzato anche dalle imprese che si trovano ai margini del territorio comunale[15]. Pertanto, si estende oltre il centro storico, con un raggio di scostamento medio dei punti dal centro della distribuzione di 3 km. Nella stessa figura, oltre alla distribuzione generale, sono riportate delle statistiche relative ai settori ATECO principali, utilizzando gli *ellissi di deviazione standard*[16], che consentono di cogliere l'orientamento delle distribuzioni settoriali. La distribuzione più diffusa sul territorio è quella delle aziende agricole; in questo caso non emerge un orientamento direzionale e l'ellisse assume una forma praticamente circolare, con un raggio molto ampio (colore verde). Al contrario, le aziende manifatturiere si localizzano nelle zone industriali del comune, collocate lungo il fiume Foglia e in prossimità delle principali vie di comunicazione. In questo caso, la distribuzione è riassunta da una forma molto ellittica e "stretta" (di colore blu), orientata in direzione Nord-Est – Sud-Ovest. Gli assi maggiore e minore misurano rispettivamente 4,2 km e 1,8 km. La distribuzione degli esercizi commerciali (di colore rosso), presenta una forma più circolare, spostata in sovrapposizione al centro storico e al quartiere Centro–Mare. L'orientamento è però lo stesso delle aziende manifatturiere, a comprendere le zone commerciali e direzionali di Villa Fastiggi / Villa Ceccolini. Le strutture ricettive, infine, sono collocate prevalentemente nel centro storico e lungo la costa: la loro distribuzione è pertanto ruotata lungo l'asse Nord-Ovest – Est, orientandosi in sovrapposizione al litorale, per una lunghezza di circa 3 km (asse maggiore dell'ellisse). Le diversità negli ellissi riassumono le scelte di collocazione delle imprese, probabilmente basate su criteri funzionali piuttosto che su una zonizzazione pianificata. Ad esempio le strutture ricettive, prevalentemente rivolte al turismo balneare, si distribuiscono lungo la linea di costa, mentre quelle produttive si collocano lungo le vie di comunicazione, quali l'autostrada A14 e la strada statale che collega Pesaro alla provincia interna, in cui è dislocato il distretto mobiliere.

Un metodo per valutare la concentrazione di un fenomeno sul territorio, ampiamente applicato in analisi territoriali (O' Sullivan e Unwin, 2003; Borruso, 2009), è costituito dall'analisi di densità Kernel, o *Kernel Density Estimation* (KDE)[17]. In questo lavoro, dopo aver testato diverse simulazioni, l'ampiezza di banda (o *bandwidth*) è stata fissata a 250 metri [18]. La scelta dell'ampiezza del raggio di analisi tiene conto della scala di riferimento, dell'estensione dell'area di studio e del fenomeno analizzato. [19]

15 Se la distribuzione dei dati è "normale" (*spatial normal distribution*), il cerchio di deviazione standard copre circa il 68% dei valori, mentre il doppio del cerchio ne contiene il 95%.

16 La formulazione degli *ellissi di deviazione standard* è analoga a quella descritta nella nota precedente relativamente al cerchio di deviazione standard, con la differenza che in questo caso le distanze standard calcolate sono due (SDE_x e SDE_y), una per ogni asse dell'ellisse:

$$SDE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{X})^2}{n}}$$

$$SDE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{Y})^2}{n}}$$

Dove x e y sono le coordinate del i-esimo punto, X e Y le coordinate del centro medio della distribuzione e n il numero totale di eventi. In questo modo, osservando la conformazione dell'ellisse, si può cogliere l'orientamento della distribuzione.

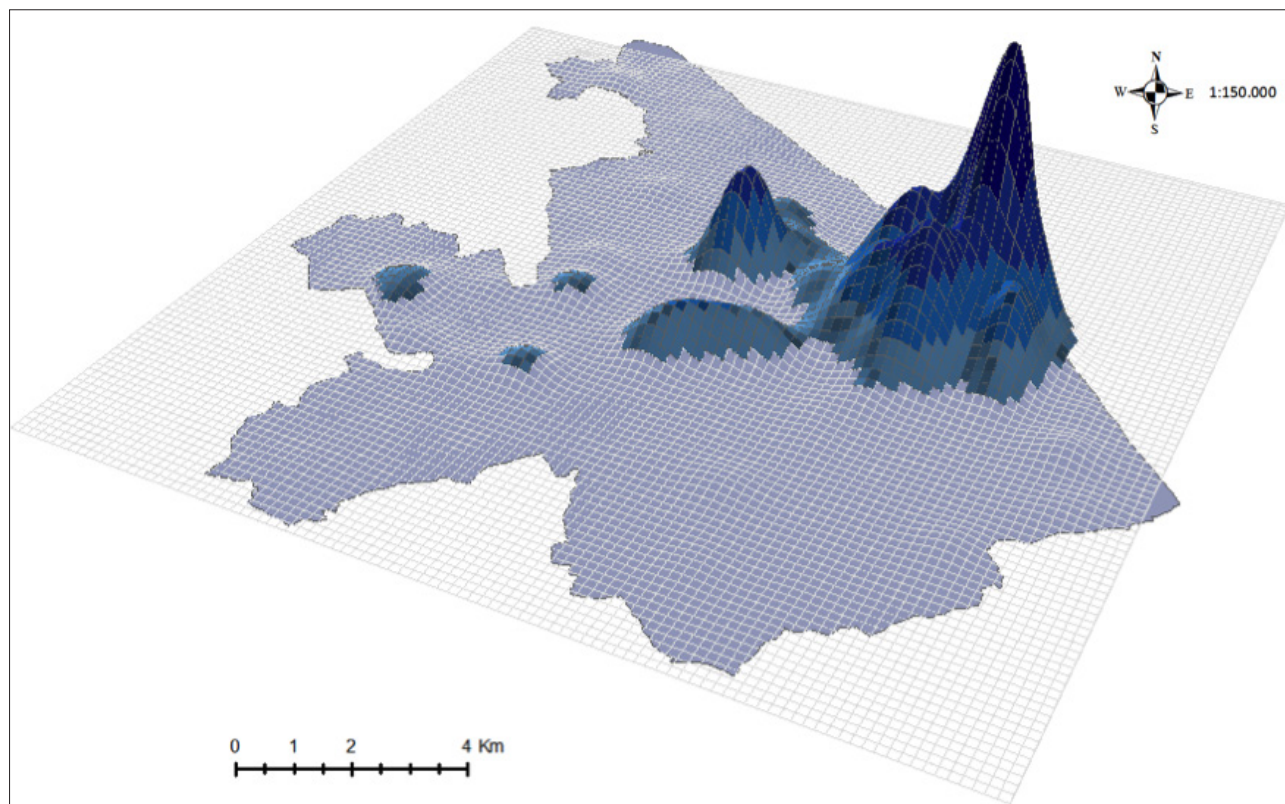
17 Formalmente (O' Sullivan e Unwin, 2003):

$$k = \text{n. } [S \in C(p, r)] / \pi r^2$$

Ovvero la funzione k è data dal numero di eventi S compresi in un cerchio C di raggio r e centrato nel punto di interesse p, in rapporto alla superficie del cerchio (πr^2).

18 In questa tecnica la scelta dell'ampiezza del raggio di analisi è un parametro cruciale da impostare per valutare la densità: ampiezze molto grandi restituirebbero risultati troppo "smussati" ed attenuati, non distinguendo le diverse densità all'interno di specifiche aree. Al contrario, valori troppo bassi restituirebbero risultati troppo puntuali, con picchi di densità molto netti in corrispondenza dei singoli punti, vanificando i benefici dell'aggregazione. Per realizzare la KDE, lo strumento genera una "griglia" di celle, o pixel, che viene sovrapposta all'area di studio; la densità viene poi calcolata singolarmente per ognuna di queste celle. L'ampiezza di queste celle (*cell size*) può essere selezionata dall'utente (cs =10 nelle mappe realizzate in questo lavoro) e determina il dettaglio dell'immagine risultante, ma non altera significativamente i risultati ottenuti.

19 Il valore è consono a cogliere la distanza fra le attività economiche in media, più concentrate nelle zone centrali e più lontane fra loro in periferia. Inoltre, relativamente alla forte concentrazione del centro storico, il valore è dimensionato allo spazio

Fogura 5 – Addensamento delle attività economiche nella zona centrale: superficie tridimensionale generata dalla *Kernel Density Estimation (KDE) (note: Kernel Density Estimation*, *cs=10; bw=250*)

FONTE: elaborazioni dell'autore su dati Comune di Pesaro e Camera di Commercio di Pesaro-Urbino. Scala 1:150.000

Dal momento che la Kernel Density Estimation è una funzione che tiene conto anche della rispettiva vicinanza dei punti, pesando maggiormente le attività vicine fra loro rispetto a quelle lontane, il risultato della stima può essere interpretato sotto forma di superficie tridimensionale[20]. Si può costruire una griglia, in cui per ogni cella il valore dell'altezza è dato dalla densità di attività economiche, pesando maggiormente quelle più vicine: nella Figura 5, i picchi che si evidenziano sono determinati in maniera continua sulla base della densità, calcolata in relazione alla rispettiva vicinanza fra i punti. La figura offre una visualizzazione interpolando in una superficie un fenomeno descritto da un insieme di punti. In questo modo i cambiamenti di densità si osservano nel continuo e non sono legati ai singoli punti di osservazione o a un intorno di essi.

percorribile da un individuo a piedi (ad esempio passeggiando fra i negozi del centro) in circa 3 minuti (ad una velocità di 1.3m/s; Limonta, 2014).

20 La *funzione KDE (Kernel Density Estimation)* fa capo ad una famiglia di funzioni matematiche che forniscono una stima di densità di un fenomeno puntuale, secondo una formulazione del tipo seguente:

$$\hat{\lambda}(s) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{s - s_i}{\tau}\right)$$

In ogni punto s dell'area di studio viene misurata l'intensità di concentrazione di punti (s_i), in relazione ad un'ampiezza di banda τ. Le specifiche funzioni *kernel k()* adottate dai diversi software possono essere di vario tipo e pesare diversamente la distanza fra i punti; le più comuni sono quelle *gaussiana*, *uniforme*, o *triangolare* In questo caso è stato utilizzato il software CrimeStat 3.3 (si veda CrimeStat 3.3 User Manual – Part III, per una formalizzazione di queste funzioni).

Nella Figura 6, le applicazioni dell'analisi di densità *kernel* sono visualizzate in classi di densità delle attività economiche: molto elevata (marrone), elevata (rosso), media (arancio) e bassa (giallo); le aree a densità molto bassa o nulla non sono state evidenziate. Nelle aree a densità molto elevata si stimano oltre duemila imprese per chilometro quadrato[21]. Nelle Figure 5 e 6 emerge, in generale, la concentrazione molto elevata di attività economiche nel centro storico[22] e si notano i picchi di densità corrispondenti all'area industriale e commerciale di Cattabrighe / Fabbreccie. Nella Figura 5 si evidenziano altre aree di densità lungo il fiume Foglia e nelle aree industriali.

È interessante osservare i due pannelli della Figura 6, confrontandone i risultati. Nella Figura inferiore, infatti, la *kernel density* è stata ponderata per tener conto della dimensione delle imprese secondo il numero di dipendenti: ovvero, è stato attribuito un peso maggiore alle imprese più grandi, rispetto a quelle piccole. Si nota chiaramente come, pur rimanendo forte la concentrazione nella zona del centro storico, altre aree assumano livelli di densità elevati: in quelle zone è maggiore la concentrazione di grandi imprese. È il caso delle zone industriali a sud-ovest del centro e lungo il fiume Foglia, comprese nei quartieri Villa Fastiggi / Villa Ceccolini, Cattabrighe / Fabbreccie e Borgo S. Maria.

Nella Figura 7, l'analisi di densità *kernel* è stata condotta separatamente nei principali macro-settori ATECO. Si nota innanzitutto la distribuzione particolare del settore agricolo, sparso "a macchia di leopardo" su tutto il territorio; ciò in contrapposizione al settore commerciale, i cui picchi di densità (aree rosse e arancioni) sono concentrati nei quartieri centrali. Il settore manifatturiero presenta aree a forte densità nelle zone industriali a sud-ovest del centro (area al centro della mappa) mentre è meno addensato nella prima periferia a carattere residenziale. Le attività ricettive, addensate nel centro storico, presentano picchi di colore rosso lungo la costa e nei pressi del porto turistico.

In conclusione, gli addensamenti che si sono riscontrati per mezzo dell'analisi di densità *kernel* possono essere quantificati analiticamente ricorrendo ad un'altra tecnica, nota come *funzione K di Ripley*[23]. Questa tecnica, appartenente ai metodi basati sulla *distanza* fra i punti[24], ha il vantaggio di quantificare l'intensità della concentrazione: nello specifico è possibile capire a quale distanza fra i punti si realizzano i raggruppamenti più consistenti. La funzione K, infatti, confronta la concentrazione relativa di punti in una determinata zona con quella dell'intera area di studio, per diverse distanze: in questo modo si può comprendere quale sia la soglia in cui si verifica la massima concentrazione (o dispersione) degli eventi. Con questa tecnica si effettua anche un test di significatività statistica sulla distribuzione osservata del *point pattern*, confrontandola con una di riferimento "casuale", utilizzata come *benchmark* (*Complete Spatial Randomness – CSR*). Con questo test statistico, di fatto, si conferma che la maggiore concentrazione di punti osservata in delle aree del *point pattern* non è dovuta al caso.

21 Tra 1000 e 2000 attività per km² in quelle a densità elevata, tra 500 e 1000: densità medio-elevate; tra 150 e 500: densità media; da zero a 150: densità bassa o nulla.

22 Nello specifico del centro storico, la densità di esercizi commerciali potrebbe essere stimata efficacemente con una variante della *kernel density*, riferita alla densità lungo una rete (o network) di vie, immaginando la concentrazione non riferita ai singoli punti delle attività, ma a dei segmenti lineari lungo le vie cittadine (come ad es. le vetrine dei negozi) (Borruso, 2008; Limonta, 2014).

23 Matematicamente, la *funzione K* (Ripley, 1976) si definisce come:

$$K(r) = \frac{1}{\lambda N} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1, i \neq j}^{N} I(d_{ij})$$

La funzione *K(r)* conta il numero di eventi che cadono all'interno di determinate soglie di distanza (raggio *r*), in relazione alla densità complessiva di punti nell'intera area di studio ($\lambda = N / A$, dove *A* è l'area dell'intera regione di studio e *N* il numero totale di punti). $I(d_{ij})$ è una funzione indicatore, che assume valore 1 se la distanza d_{ij} fra i punti è inferiore al raggio di riferimento *r*, e 0 se tale distanza è superiore (in tal caso i punti non sono considerati "vicini", *neighbour*, e quindi non vengono conteggiati).
Per ragioni pratiche e per realizzare il test statistico di confronto, nei pacchetti software la funzione *K(r)* viene comunemente trasformata in un'altra chiamata *L(d)*, di confronto con una distribuzione attesa. Per i dettagli si rimanda al manuale del software ESRI ArcGIS.

24 Concettualmente gli approcci per valutare la distribuzione di un *point pattern* si distinguono in metodi basati sulla *densità* (*density based*), a cui appartiene la funzione *kernel* descritta in precedenza, e metodi basati sulla *distanza* (*distance based*), che consento di valutare le proprietà del secondo ordine (O' Sullivan e Unwin, 2003).

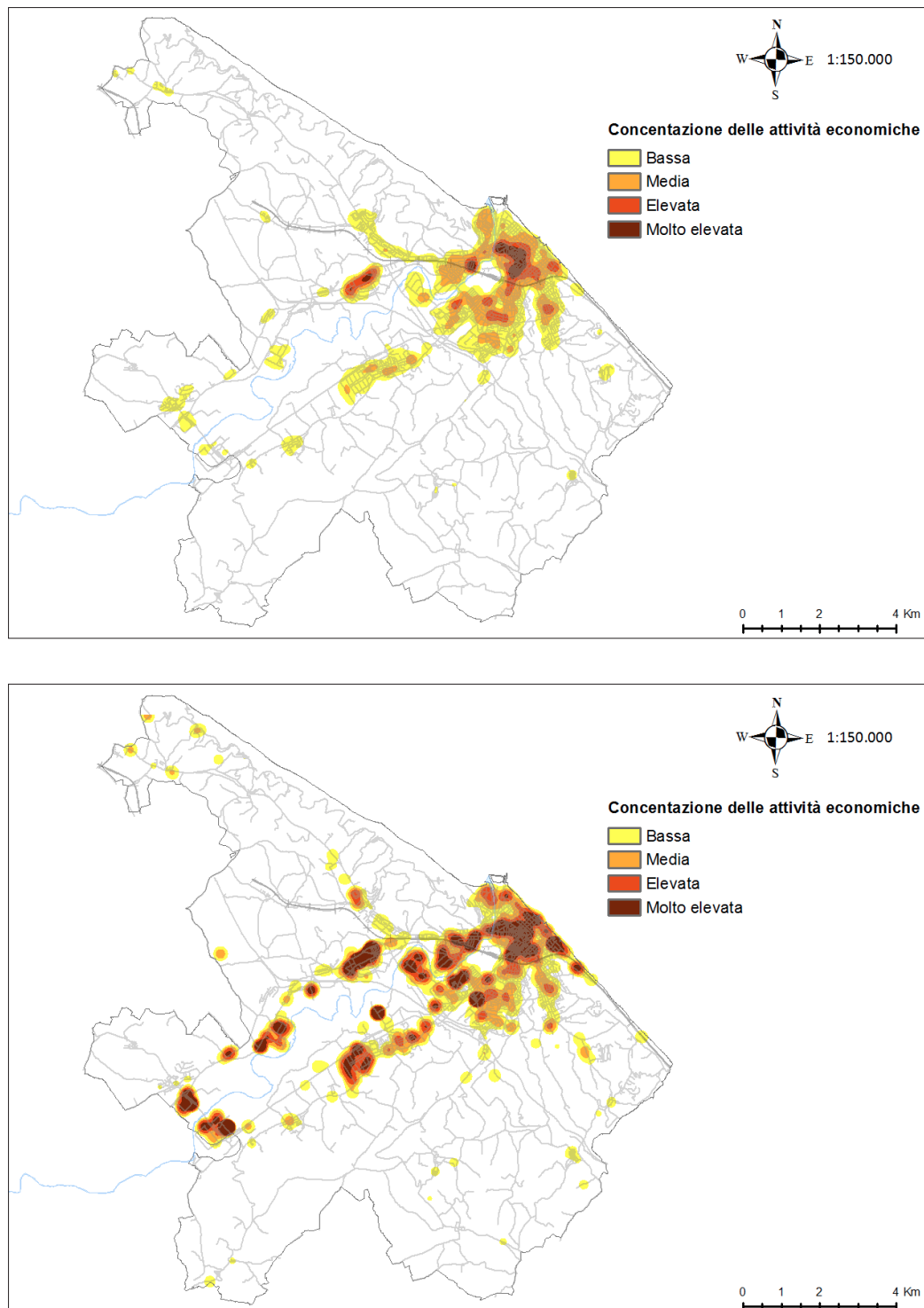
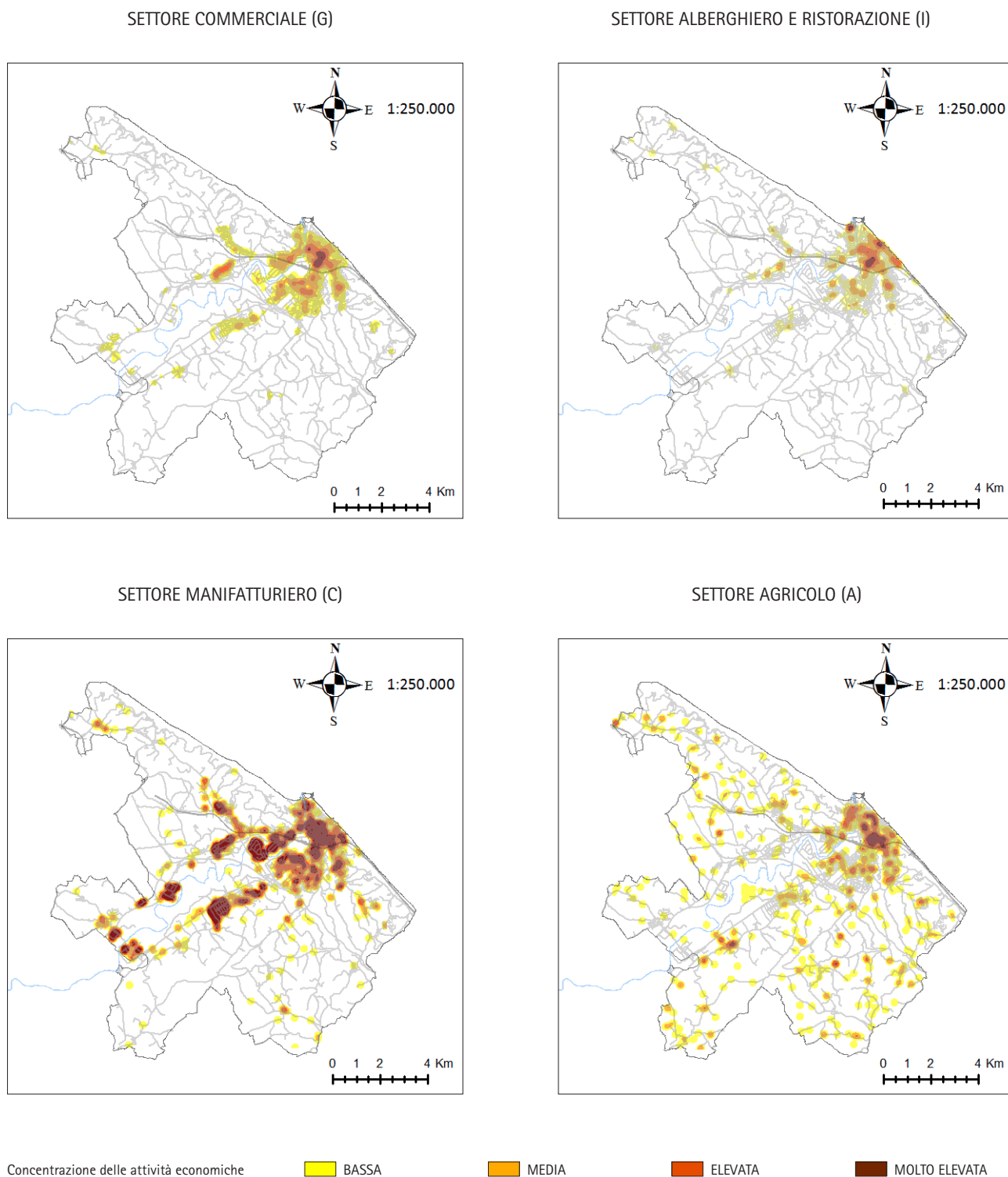
FIGURA 6 – Addensamento delle attività economiche (sopra), e addensamento con ponderazione per numero di dipendenti (sotto) *(note: Kernel Density estimation, cs=10; bw=250)*

FONTE: elaborazioni dell'autore su dati Comune di Pesaro e Camera di Commercio di Pesaro-Urbino. Scala 1: 150.000

FIGURA 7 – Addensamento delle attività economiche, per macro-settore ATECO *(note: Kernel Density est., cs=10; bw=250)*

SETTORE COMMERCIALE (G)

SETTORE ALBERGHIERO E RISTORAZIONE (I)

SETTORE MANIFATTURIERO (C)

SETTORE AGRICOLO (A)

Concentrazione delle attività economiche — BASSA — MEDIA — ELEVATA — MOLTO ELEVATA

FONTE: elaborazioni dell'autore su dati Comune di Pesaro e Camera di Commercio di Pesaro-Urbino. Scala 1:250.000

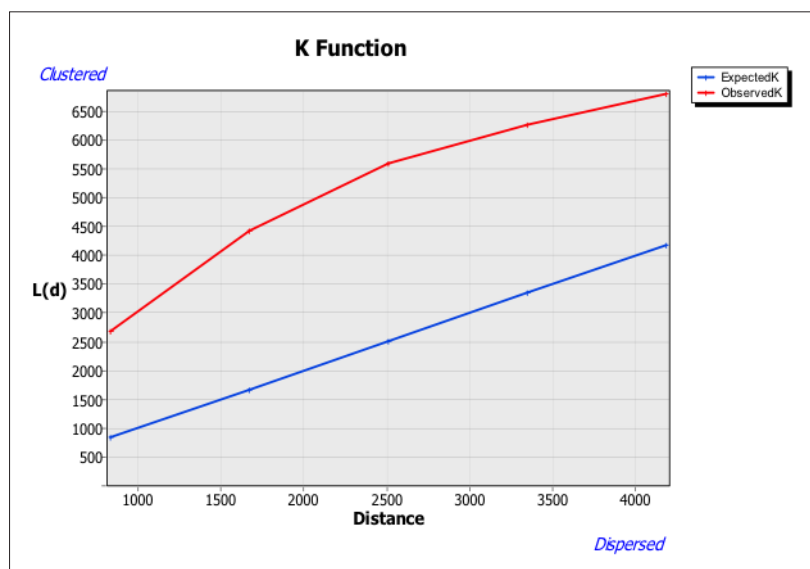



FIGURA 8 – Funzione di addensamento delle attività economiche (rosso), rispetto alla distribuzione casuale (CSR) (blu)

FONTE: elaborazioni dell'autore su dati Comune di Pesaro e Camera di Commercio di Pesaro-Urbino

Nel grafico di Figura 8 viene riportato l'andamento della funzione *L(d)* che misura la concentrazione dei punti (in rosso), relativamente a quella di una funzione attesa, generata da un processo casuale (in blu). Dal grafico si nota che la curva in rosso si trova sempre al di sopra di quella in blu, confermando la maggiore concentrazione dei punti relativi alle attività economiche, rispetto alla distribuzione casuale sul territorio[25]. La differenza è elevata e statisticamente significativa. Inoltre, osservando la distanza fra la funzione *L(d)* e quella attesa, si può comprendere a che soglia si verificano i raggruppamenti maggiori. Nello specifico, il valore di massima concentrazione si ha in corrispondenza di un raggio di 2500 metri (2,5km), in corrispondenza del quale la distanza verticale fra la curva in rosso e quella in blu è massima.[26] L'analisi è stata condotta anche separatamente nei vari settori e la concentrazione dei punti è confermata statisticamente per ciascuno di essi. Emergono però differenze nell'intensità della concentrazione e nelle distanze a cui si realizzano i *cluster*, che si allineano ai risultati discussi in precedenza, come la maggiore concentrazione dei settori commerciale e manifatturiero rispetto, ad esempio, a quello agricolo, più sparso sul territorio.

5. Conclusioni

In questo lavoro è stato realizzato un sistema GIS (*Geographic Information System*) relativo al tessuto economico-produttivo del comune di Pesaro, nelle Marche. I dati statistici sulle attività economiche sono stati georeferenziati, realizzando varie rappresentazioni cartografiche. Inoltre, le cartografie tematiche illustrate sono state rese disponibili in un WebGIS, in cui è possibile visualizzare e ricercare le imprese sullo stradario e la cartografia tecnica comunale, disaggregando fra i settori ATECO, per classi di dipendenti o capitale sociale[27]. In questo modo si è generato uno strumento informativo utile agli agenti economici e alla cittadinanza.

25 Al contrario, se le imprese fossero state disperse regolarmente sul territorio, la curva rossa si sarebbe trovata al di sotto di quella blu. La funzione può essere visualizzata anche con riferimento a un inviluppo generato dagli intervalli di confidenza; in tal caso se la curva *L(d)* ricade all'interno dell'inviluppo la distribuzione non ha cluster statisticamente significativi. Tale caso è stato testato ma non riportato in quanto la *L(d)* si trova sempre e significativamente al di sopra dell'inviluppo, per ogni iterazione.

26 Il fatto che la curva rossa diminuisca per distanze maggiori è comunemente riscontrato nelle applicazioni e dipende dai cosiddetti *edge effect* (si veda O' Sullivan e Unwin, 2003; e Albert et al., 2013).

27 Il WebGIS è disponibile al link: http://141.138.81.246/fv2011/index.html?config=configimprese.xml

Dai dati sono emersi i profili delle imprese, tipicamente di piccola dimensione ma organizzate in distretti produttivi considerevoli, e le diverse risposte dei settori alla crisi: emergono con forza le difficoltà del comparto produttivo, mentre sembrano rispondere meglio i settori dell'agricoltura, della ristorazione e della ricettività turistica.

Attraverso l'analisi territoriale, inoltre, si osservano la concentrazione e la polarizzazione dei vari settori di attività: emergono i poli di grandi aziende manifatturiere nelle zone interne al comune, le aziende agricole distribuite sul territorio, le strutture ricettive e della ristorazione sulla costa e nel centro storico, insieme con gli esercizi commerciali. Le zonizzazioni produttive che emergono, riferite prevalentemente al settore mobiliere, ricalcano la struttura produttiva tipica dei cluster industriali. I risultati sono confrontabili con quelli di altri distretti produttivi regionali (ed. es il distretto calzaturiero nel sud delle Marche), o a livello nazionale. La distribuzione osservata, probabilmente, è il risultato di scelte di carattere funzionale, quali la prossimità a vie di comunicazione verso l'interno della provincia (in cui è dislocato il distretto mobiliere), anziché di una zonizzazione pianificata.

I risultati ottenuti, quantificati analiticamente, sono utili a livello di pianificazione, di regolamentazione e di marketing territoriale. Ad esempio, si suggerisce il potenziamento dell'offerta turistica nelle aree collinari, in cui le strutture sono scarse nonostante l'attrattività dell'area (in cui è inserito il Parco Naturale di Monte S. Bartolo). In questo senso, le numerose aziende agricole presenti nelle zone interne potrebbero efficacemente essere convertite in strutture agrituristiche o *country-house*. Dal punto di vista della *policy* industriale, infine, sarebbe importante rafforzare la distribuzione in cluster di imprese già presente, per contrastare gli episodi di crisi in un struttura di rete.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Comune di Pesaro, e in particolare l'U.O. Basi Territoriali e Statistica, per la disponibilità dei dati e per il supporto nella realizzazione di questo lavoro.
Si ringraziano i referee per i comenti e i consigli su una versione precedente dell'articolo.

Bibliografia

ALBERT J.M., CASANOVA R. e ORTS V. (2013), Spatial location patterns of Spanish manufacturing firms, mimeo.

ANTOLINI F. et al. (2008), Indagine Sulle Statistiche Relative Alla Distribuzione Territoriale Delle Imprese Italiane, in Rapporto di indagine della Commissione Per La Garanzia Dell'informazione Statistica della Presidenza del Consiglio dei Ministri.

ArcGIS 10.2.1 for Desktop, Help & User Manual, ESRI Inc., Redlands California.

BORRUSO G. (2005), Network Density Estimation: Analysis of Point Patterns over a Network, in (Gervasi O., a cura di) Computational Science And Its Applications – Iccsa 2005 (Part III), Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

BORRUSO G. (2008), Network Density Estimation: a GIS Approach for Analysing Point Patterns in a Network Space, "Transactions in GIS" 12, 377-402.

BORRUSO G. e PORCEDDU A. (2009), A tale of Two Cities: Density Analysis of CBD on Two Midsize Urban Areas inNortheastern Italy, in Geocomputation & Urban Planning, Springer.

COMUNE DI PESARO / S.I.T. (2013), Annuario demografico.

CRIMESTAT 3.3, *User Manual* (Part III – Density Analysis).

DEVEREUX M.P., GRIFFITH R. e SIMPSON H. (2004), The geographic distribution of production activity in the UK. "Regional Science and Urban Economics", 34, 533-564.

FEDDERKE J. e WOLLNIK A. (2007), The Spatial Distribution of Manufacturing in South Africa 1970-1996, its Determinants and Policy Implications, "Working Paper Number 53", University of Cape Town.

FUJITA M., KRUGMAN P. e VENABLES A.J. (1999), The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade, MIT Press, Cambridge, MA.

GETZ K., LITWIN P. e GILBERT M. (2000), Access 2000. Manuale di Programmazione, Jackson Libri, Milano.

KRUGMAN P. (1980), Scale Economies, Product Differentiation and the Pattern of Trade, "American Economic Review", 70, 950-959.

LIMONTA G. (2014), La tecnologia GIS come strumento per il Governo della Movida, in 15a Conferenza Utenti ESRI, Roma 9 e 10 Aprile 2014, GeoMedia / ESRI Italia.

MURGANTE B. e BORRUSO G. (2012), Analyzing Migration Phenomena with Spatial Autocorrelation Techniques in B. Murgante et al. (Eds.), ICCSA 2012, Part II, LNCS 7334, pp. 670–685, 2012, Springer.

O'SULLIVAN D. e UNWIN D. (2003), Geographic Information Analysis, John Wiley and Sons, New Jersey.

PORTA S. et al. (2007), Correlating densities of centrality and activities in cities: the cases of Bologna (IT) and Barcelona (ES), in Planning, Complexity and New ICT, Alinea Editrice, Firenze.

XIONG NIU (2008), Study on Spatial Distribution of Industries in Chinese Cities During Transitional Period: A Case Study on City of Nanning, 44th ISOCARP Congress, 2008.

Il supporto cartografico nella prevenzione del Rischio e nella pianificazione. L'Area Flegrea

The cartographic support in Risk prevention and planning. The Campi Flegrei Area

Stefania Palmentieri*

Riassunto

I Campi Flegrei, situati ad ovest di Napoli, occupano un'area con un'elevata densità demografica, ricca di risorse culturali e al tempo stesso interessata da una discreta attività vulcanica.
L'elevato grado del Rischio connesso alle attività umane è emerso sia dal'analisi del paesaggio, dove sono evidenti i segni del degrado dovuti alla pressione antropica e all'urbanizzazione, sia dall'analisi delle stime operate da diversi studiosi. In particolare, dopo aver valutato il livello del Rischio vulcanico attraverso l'applicazione di modelli condivisi dalla comunità scientifica e dopo avere individuato le risorse naturali e culturali presenti nel territorio, abbiamo utilizzato lo strumento cartografico per confrontare i dati relativi ai fenomeni osservati, comprenderne le relazioni ed individuare le aree dove intervenire con una pianificazione integrata. Ne sono derivate alcune interessanti conclusioni sul livello non solo del Rischio, ma anche della Vulnerabilità, ossia del Valore delle risorse territoriali compromesso dalle attività umane e da un'eventuale ripresa dell'attività vulcanica.

Parole chiave

Pressione antropica, rischio vulcanico, pericolosità, valore

Abstract

The Phlegraean Fields, located to the west of Naples, occupy an area with a high population density, rich in cultural resources and at the same time affected by a discrete volcanic activity.
To understand the level of risk of both the environmental and volcanic affects which are exposed in the area, we started from an analysis of the landscape formations from which signs of degradation have emerged, then analysed the risks to the environment due to human activities and urbanization pressures. We identified the natural and cultural resources present in the Phlegraean Fields area, then analysed the level of the volcanic risk using the model applications shared by the scientific community. Then using a tool map, we compared the data related to the observed phenomena to understand their relationships. We came to some interesting conclusions on the levels, not only by the environmental and volcanic risks, but also vulnerability risks. The vulnerability risks being the value of the resources affected by human activities and the possible resumption of volcanic activity in the area.

Keywords

Anthropogenic pressure, Volcanic Risk, Hazard, Value

* Dipartimento di Scienze Politiche – Università degli Studi di Napoli "Federico II"

1. Introduzione

Questo studio sull'Area Flegrea[1] – il toponimo dal greco *flego*, ardo, ne rivela la natura vulcanica – attraverso un approccio interdisciplinare che coniuga i risultati di indagini geofisiche e socio-demografiche, ha come obiettivo di fondo quello di produrre una cartografia che funga da supporto per la pianificazione e la gestione-divulgazione del Rischio. Le moderne tecnologie geospaziali, infatti, permettendo la sovrapposizione di diversi *layer*, ci hanno consentito di rappresentare tutta la complessità di questo territorio dove è stretta l'interrelazione di variabili differenti, dalle risorse alle criticità. Dopo l'analisi dei "segni" che le attività umane hanno impresso nel paesaggio e nell'ambiente naturale, abbiamo preso in considerazione le valutazioni degli esperti sul Rischio vulcanico e prodotto una cartografia che aiuti a stimare l'effettivo Valore Esposto nel caso in cui si verifichi un'eruzione. Oggi infatti, tra tutti i fattori di Rischio, quello vulcanico costituisce nei Campi Flegrei un aspetto piuttosto preoccupante, dal momento che una ripresa dell'attività vulcanica metterebbe a repentaglio le risorse territoriali e l'incolumità di un gran numero di residenti.

2. Il Rischio ambientale

Non di rado capita nel linguaggio comune di considerare sinonimi i termini di "Rischio" e "Pericolosità". In realtà per "Rischio" si deve intendere la potenzialità di un'attività di condurre ad un evento non desiderato o inatteso che procurerebbe una perdita. Il termine trova quindi utilizzo in ambiti diversi che vanno dall'economia alla sicurezza umana. In questa sede si parlerà di "Rischio ambientale", e di "Rischio vulcanico", ossia la possibile perdita di valore di beni (persone, manufatti, attività sociali ed economiche) prodotta dall'azione dell'uomo nel primo caso, e da un'eruzione "pericolosa" nel secondo, laddove per "Pericolosità" va intesa la probabilità che l'evento si verifichi.

Per ottenere un dato più vicino possibile al reale, ci siamo riferiti alla formula proposta da alcuni studiosi (Scandone, Arganese e Galdi, 1994, p. 123; Fralliccardi, 1998, p. 322) secondo la quale:

$$R = (\text{Valore}) \times (\text{Vulnerabilità}) \times (\text{Esposizione})$$

dove R è il Rischio, il Valore è dato dall'insieme delle persone, delle costruzioni, delle infrastrutture, della superficie di terreno agricolo, ecc. presenti nell'area potenzialmente interessata dai fenomeni previsti; la Vulnerabilità è la percentuale del Valore che si stima verrà perduta per effetto di un determinato fenomeno distruttivo, l'Esposizione è la Pericolosità.

Dal momento che non tutti questi valori sono quantificabili, il livello di Rischio cui può essere esposto un territorio non si può calcolare con esattezza matematica, soprattutto perché non è possibile stabilire con certezza il momento in cui si verificheranno alcuni fenomeni, come quelli naturali che, in molti casi, rimangono soggetti a valutazioni probabilistiche. Per stimare il Rischio in un territorio, è necessario, quindi, prenderne in considerazione diversi aspetti, da quelli geomorfologici a quelli legati alla presenza dell'uomo, come la densità demografica e le risorse culturali ed economiche che verrebbero compromesse da un evento calamitoso.

D'altra parte, la conversione urbana di molti suoli e il conseguante incremento della densità demografica accrescono la probabilità che si verifichino fenomeni dannosi alla salute dell'uomo ed innalzano il livello del Rischio. Alcuni studiosi (Romano *et al.*, 2011) hanno sottolineato come, sin dalla metà del '900, molti territori dell'Italia centro-meridionale siano stati interessati dalla saturazione dei suoli pregiati a causa di un'urbanizzazione incontrollata che ha prodotto diversi effetti negativi sugli ecosistemi e sulla salute umana: cambiamenti climatici, alterazione degli assetti idraulici ipogei ed epigei, destabilizzazione geologica con conseguente aumento dell'intensità e della frequenza di eventi di dissesto idrogeologico, sprechi energetici, diseconomie, riduzione della capacità di assorbimento delle emissioni e della resilienza ecologica complessiva, frammentazione spaziale, irreversibilità dell'uso dei suoli, propagazione degli inquinanti, disturbo delle produzioni agricole.

1 In questa sede viene presa in considerazione la fascia costiera dei comuni di Pozzuoli, Bacoli e Monte di Procida nella quale i livelli di Rischio ambientale e soprattutto vulcanico risultano più elevati.

L'espansione delle superfici artificiali ha provocato, come vedremo, gli stessi effetti nel territorio flegreo, accrescendovi la Vulnerabilità, il livello di Rischio per la popolazione, dunque la necessità di intervenire con un' articolata pianificazione territoriale.

3. Il Rischio nell'Area Flegrea

Sin dall'antichità l'Area Flegrea, per le sue caratteristiche climatiche e le risorse termali, ha attratto molti nobili e patrizi che la elessero come luogo ideale di svago e di abituale residenza. Iniziò, allora, una lenta urbanizzazione del territorio, ancora rispettosa dell'ambiente, sostenibile e "proficua" che arricchì l'area di una serie di elementi che ancora oggi rappresentano le principali risorse culturali dei Campi Flegrei.

A partire dagli anni Sessanta del Novecento purtroppo, quel processo di urbanizzazione si è intensificato fino a raggiungere dimensioni assolutamente inaspettate e devastanti, alterando progressivamente gli equilibri ambientali che oggi si rivelano gravemente compromessi.

Erano quelli gli anni delle "mani sulla città", nei quali la speculazione edilizia travolse Napoli e dintorni. L'Area Flegrea non rimase estranea a questo fenomeno che, anzi, fu incoraggiato dalle "occasioni" offerte dalle crisi bradisismiche degli anni Settanta e Ottanta (Leone, 2006, pp. 39-47). Il paesaggio cominciò allora a raccontare, con i segni che l'uomo andava imprimendovi, una storia fatta di cementificazione, abusivismo, inquinamento e degrado che nel tempo hanno accresciuto il livello di Rischio.

Nel Golfo di Pozzuoli ad esempio, dove crateri vulcanici, grotte e segni di antiche attività agrarie si alternavano a templi, anfiteatri e ville romane, il paesaggio ha mostrato, nel corso del tempo, quando l'uso del territorio è entrato in contrasto con le esigenze dell'ambiente naturale, un ribaltamento del rapporto natura-uomo. Ne sono derivate stridenti contraddizioni: l'abusivismo edilizio in un parco regionale, l'elevata densità abitativa in un'area a elevato Rischio sismico e vulcanico, il tentativo di proteggere la natura in un territorio non privo di numerose discariche abusive, la ricerca di un turismo *sostenibile* in un ambiente degradato (Frallicciardi, 1999, p. 37).

In un recente lavoro Pesaresi e Marta (2014), sulla base delle osservazioni di diversi studiosi (Renschler, 2005; Bellucci Sessa *et al*, 2008; Macedonio *et al*, 2008; Alberico *et al.*, 2012), attraverso le applicazioni GIS, hanno condotto un'analisi sull'evoluzione dell' urbanizzazione e della modificazione dell' uso del suolo nella provincia di Napoli ed hanno esaminato il grado di Pericolosità e di Rischio vulcanico nell'Area Vesuviana e in quella Flegrea. Riferendosi all'ultimo rapporto ISPRA (2013), Marta ha sottolineato come la provincia di Napoli presenti la maggiore densità abitativa a livello nazionale, con 8.082 abitanti per kmq. Dall'analisi diacronica della cartografia sull'uso del suolo, è emerso, inoltre, che l'espansione delle superfici artificiali nelle due aree ha provocato seri danni all'ecosistema con la conseguente compromissione della biodiversità e dell'identità culturale. L'urbanizzazione incontrollata, l'eccessiva cementificazione e l'aumento della densità demografica, oltre ad accrescere la Vulnerabilità ad alcuni eventi come alluvioni e frane in un'area già interessata da elevato Rischio sismico e vulcanico, hanno provocato altresì l'inquinamento dei laghi costieri di origine vulcanica, come il Lago D'Averno, e di quelli lagunari – formatisi cioè per il progressivo accumulo di sabbie che li ha separati dal mare – come il Miseno, il Lucrino e il Fusaro. Tutti i laghi flegrei sono, del resto, caratterizzati da un fragilissimo equilibrio ecosistemico per gli intensi e svariati usi cui sono stati sottoposti dall'uomo nel corso della storia e per le loro caratteristiche naturali e morfologiche. Sin dall'antichità, infatti, questi specchi d'acqua sono stati sfruttati per ospitare cantieri navali, vivai di pesci e molluschi e la loro morfologia è stata modificata da foci e canali artificiali. La scarsa profondità e la modesta ampiezza dei loro invasi li hanno, inoltre, esposti all'inquinamento e ad una crescente incapacità ad adattarsi alle modifiche loro imposte, fino a trasformarli in fattori di Rischio per la salute stessa della popolazione. In base a due indicatori sulla qualità delle acque – lo stato trofico misurato con la concentrazione di fosforo e il carico potenziale inquinante connesso con la densità demografica e le attività economiche – le acque del Miseno risultano quelle maggiormente compromesse, più dagli scarichi domestici che dalle attività agricole, ormai qui piuttosto marginali. La pressione antropica e gli scarichi dell'Alenia sono,

FIGURA 1 – L'inquinamento del Lago Fusaro

FONTE: Collezione personale dell'autore

invece, i principali responsabili di una concentrazione di cloro nel Fusaro sette volte più alta di quella considerata "pericolosa" (Figura 1). Nel Lago D'Averno, invece, la compromissione dell'equilibrio ecosistemico va ricondotta ad un disastro avvenuto nel 1976 quando, in seguito ad una frana, il collettore di Cuma si ruppe, versando per sei mesi nel bacino una grande quantità di rifiuti e solidi organici, innescando un processo di eutrofizzazione che, come accade anche nel Lago Lucrino, dà luogo a frequenti esplosioni algali e morie di pesci (Frallicciardi e Sbordone, 1992, p. 185).

Il segno più evidente, tuttavia, del degrado e del Rischio nel territorio flegreo, ancora oggi impresso nel paesaggio, è quello che ne descrive il passato industriale, causa principale dell'inquinamento dei suoli e del depauperamento della flora e della fauna marine. Sul litorale tra Bagnoli ed Arco Felice si trovano numerosi impianti industriali dismessi, come quello dell'Italsider, che occupava lo spazio che oggi costituisce il più vasto vuoto urbano d'Europa, alla bonifica del quale si auspica che si provveda quanto prima (Figura 2).

Il discorso sul Rischio nel territorio flegreo diventa più complesso quando si valutano le ripetute crisi dovute alla impossibilità di smaltire i rifiuti regionali. Le discariche autorizzate ma contaminate da scarichi illegali e molte altre che, realizzate un tempo in aree non urbanizzate, si trovano oggi, con la progressiva moltiplicazione dei fulcri dell'urbanizzazione flegrea, a stretto contatto con le abitazioni, minacciano seriamente la salute della popolazione (Figura 3).

La valutazione del Rischio, tuttavia, non è così semplice, per la necessità di tener conto anche di altri fattori quali la Vulnerabilità, la Pericolosità ed il Valore Esposto. Queste variabili assumono, infatti, particolare rilevanza nell'Area Flegrea dove il livello del Rischio vulcanico risulta più elevato, come vedremo, proprio

FIGURA 2 – Gli stabilimenti dismessi dell'Italsider di Bagnoli

FONTE: Collezione personale dell'autore

nei comuni dove maggiore è la densità demografica e cospicuo è il numero delle risorse territoriali.

Comprendere le dinamiche dei fenomeni legati all'attività vulcanica rappresenta, d'altronde, un'operazione imprescindibile per potere avere una stima della Pericolosità. Come fattore del Rischio vulcanico, essa viene valutata in base ad alcuni parametri come la natura geomorfologica del territorio ed il comportamento passato del vulcano.

Nell'area metropolitana partenopea, la cosiddetta linea del Sebeto[2] separa, da punto di vista geo-vulcanologico, le due aree di vulcanesimo attivo: il Vesuvio e i Campi Flegrei, con caratteristiche litologiche, assetto strutturale e storie vulcaniche diverse.

La differente conformazione geologica ha condotto alla formazione, nel Somma-Vesuvio, di un vulcano centrale situato in corrispondenza di faglie[3] che hanno determinato una fascia di debolezza attraverso la quale nel tempo sono risaliti i magmi. Nell'Area Flegrea, invece, dove non c'erano le condizioni per la formazione di un vulcano centrale, si è creato un campo di vulcani monogenici[4] alimentati da un ampio ristagno magma-

2 Il fiume Sebeto, oggi quasi del tutto scomparso, nasceva dalle sorgenti della Bolla ai piedi del Monte Somma e sfociava nel Golfo di Napoli. Con il suo corso che arrivava fino alla collina di Pizzofalcone, esso segnava un confine naturale tra la zona orientale e quella occidentale di Napoli.

3 La faglia è una frattura tra due masse rocciose dovuta all'attività tettonica.

4 I vulcani monogenici sono il prodotto di una singola eruzione che può durare anche molti anni, quelli poligenici invece vengono generati da più eruzioni spesso separate da lunghi periodi di tempo. I vulcani monogenici inoltre presentano un condotto semplice utilizzato nel corso di una singola eruzione o fase erut-

FIGURA 3 – La discarica del Cratere Senga

FONTE: Collezione personale dell'autore

tico che, risalendo verso la superficie, ha formato delle piane separate da modesti rilievi che non superano i 300 metri.

La storia vulcanica rappresenta l'altro dato sulla Pericolosità, utile nella previsione dei possibili scenari futuri.

Se il sistema Somma-Vesuvio è stato interessato da un'attività mista, sia effusiva che esplosiva, con la produzione di lave e depositi piroclastici, la storia vulcanica flegrea è, invece, caratterizzata da eruzioni per lo più esplosive che hanno originato numerose cave di pozzolana e di tufo dalle quali sono poi stati estratti i materiali per le costruzioni locali. Si tratta di fenomeni più complessi, dal punto di vista dinamico, rispetto a quelli effusivi perché la colonna eruttiva che fuoriesce a grande velocità dal cratere, può rimanere sostenuta, implodere o collassare, con conseguenze diverse sui territori circostanti. Nei primi due casi, i depositi piroclastici che cadono al suolo possono coprire superfici anche di centinaia di kmq, nel caso di una colonna che collassa, i materiali eruttivi si depositano attraverso correnti radenti al suolo ad una velocità che può raggiungere anche i 100 km/h su superfici più limitate (Lirer, 1994, p. 80).

Riguardo al periodo di inizio del vulcanesimo flegreo, attraverso l'analisi dei prodotti vulcanici più antichi risalenti a 60.000 anni fa, si può dedurre che i Campi Flegrei sono una caldera formatasi in seguito a due episodi di sprofondamento. Il primo avvenne circa 37.000 anni fa, in occasione dell'eruzione dell'Ignimbrite Campana – la più grande eruzione esplosiva avvenuta nel Mediterraneo negli ultimi 200.000 anni –

tiva mentre i vulcani poligenici sono caratterizzati da un sistema complesso di condotti che vengono utilizzati per alimentare differenti eruzioni nel corso del tempo.

durante la quale furono emessi 150 kmc di magma con la formazione di una colonna pliniana[5] che raggiunse l'altezza di 45 km e sparse i suoi depositi fino alla Groenlandia. Il secondo episodio fu l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano, avvenuta circa 12.000 anni fa, con cui furono emessi quasi 50 kmc di magma e fu determinato l'abbassamento del livello del suolo, tanto che le aree a sud delle piane di Soccavo e Pianura si trovano oggi al di sotto del livello del mare, come testimoniano i sedimenti marini e i depositi piroclastici ritrovati.

Dopo questi episodi, l'attività vulcanica flegrea ha visto l'alternarsi di eruzioni esplosive, come quella delle Pomici Principali (10.300 anni fa) e di Agnano-Monte Spina (4.100 anni fa) e periodi di quiescenza; bisognerà aspettare il 1538 per assistere all'eruzione che portò alla nascita del Monte Nuovo, preceduta da vistose modificazioni del suolo e da una attività sismica avvertita fino a Napoli (De Astis *et al.*, 2000, p. 17).

Per classificare le eruzioni esplosive in base alla loro entità e Pericolosità, Newhall e Self (1982) hanno proposto uno schema semiquantitativo che utilizza la valutazione dell'"Indice di Esplosività Vulcanica" (VEI = *Volcanic Explosivity Index*). Il modello si basa su una serie di parametri osservabili nel corso di un'eruzione, combinati in maniera tale da fornire una scala di relativa grandezza fra i vari eventi. Esso suddivide l'Indice in 8 classi di grandezza: Indice 0: attività non esplosiva; Indice 1: esplosività piccola; Indice 2/3: esplosività moderata; Indice 4: esplosività grande; Indice da 5 a 8: esplosività molto grande.

Sulla base di questi parametri si è ricostruita la storia vulcanica flegrea e sono state classificate le diverse eruzioni: quella di Monte Nuovo presenta un VEI pari a 3; quella di Astroni ed Averno un VEI pari a 4; quella delle Pomici Principali un VEI pari a 5; quella del Tufo Giallo, che ha generato la caldera flegrea, un VEI pari a 6 (Scandone e D'Andrea, 1994, p. 140; Frallicciardi, 1998, p. 323).

5 La Colonna Pliniana prende il nome da Plinio il Giovane che per primo descrisse il fenomeno legato ad un'eruzione con emissione di lava molto viscosa che non fluisce dal cratere ma si accumula alla sommità, impedendo ai gas di uscire. L'aumento della pressione interna al cratere provoca l'esplosione del vulcano durante la quale viene prodotta una grande colonna di ceneri, lapilli e gas. Terminata la spinta dei gas, la colonna precipita al suolo sotto forma di una nube piroclastica.

I valori di probabilità di ciascuna classe sono rispettivamente:

P3 (≥1,10) = 0.0104
P4 (≥1,10) = 0.0045
P5 (≥1,10) = 0.0019
P6 (≥1,10) = 0.0008

Per definire la Pericolosità vulcanica dei Campi Flegrei non è possibile, tuttavia, basarsi solo su queste valutazioni, perché bisognerebbe essere in grado di determinare con una certa sicurezza prima di tutto il tipo di eruzione più probabile, con le relative possibili fenomenologie attese, poi la probabilità di apertura di bocche eruttive in zone diverse, che inevitabilmente condizionerebbe la potenziale distribuzione dei prodotti sul territorio ed il conseguente pericolo per la popolazione residente. Nei Campi Flegrei, infatti, dove sono presenti vulcani monogenici – a differenza del Vesuvio dove esiste un apparato centrale – l'area di possibile apertura di bocche eruttive è piuttosto estesa.

La storia vulcanica induce, comunque, la comunità scientifica ad ipotizzare che una futura eruzione dovrebbe essere qui di tipo esplosivo, con lancio di bombe e blocchi di grosse dimensioni nell'immediato intorno del centro eruttivo situato nel comune di Pozzuoli, con lo scorrimento di flussi piroclastici nel raggio di alcuni chilometri, con la ricaduta di ceneri e lapilli su tutta l'area metropolitana di Napoli, sottovento rispetto alla direzione dei venti dominanti.

Eppure, l'analisi della distribuzione dei depositi nelle varie eruzioni mostra che non tutta l'Area Flegrea è stata toccata in passato dai prodotti eruttivi: quelli dell'eruzione di Monte Nuovo, ad esempio, vennero distribuiti su una superficie di appena 3,5 kmq per l'effetto-barriera di alcuni rilievi rispetto allo spargimento dei depositi. Se in occasione delle eruzioni degli Astroni e successivamente del Monte Spina, tali depositi arrivarono a coprire un'area di 40-50 kmq fino alle conche di Agnano e a Fuorigrotta, è pur vero che la diffusione dei prodotti delle eruzioni non ha mai interessato in modo consistente la piana di Quarto, Bacoli, Monte di Procida e Cuma, grazie alla loro distanza dalle bocche eruttive (Lirer, 1994, p. 92).

Tutte queste considerazioni confermano quanto sia difficile, anche in presenza di minuziose analisi dei fenomeni passati e presenti, valutare con esattezza la Pe-

ricolosità di un vulcano la quale, peraltro, si fonda su un ulteriore indicatore: il fenomeno della risorgenza, iniziato nei Campi Flegrei 10.000 anni fa e tutt'ora in corso. Insieme alla continua attività fumarolica e alle deformazioni del suolo, esso induce gli studiosi ad ipotizzare che la camera magmatica sia situata a bassa profondità e abbia notevoli dimensioni.

Lo stesso bradisismo, un lento movimento di sollevamento e abbassamento del suolo che interessa tutta l'area dei Campi Flegrei, rappresenta un ulteriore indicatore della Pericolosità in quanto segno di variazioni del sistema vulcanico. L'aumento di temperatura e di pressione nelle rocce sottostanti determinano, infatti, il sollevamento del suolo secondo una geometria "a cupola" centrata sulla città di Pozzuoli. Per questo motivo, le "crisi" bradisismiche degli anni Settanta e Ottanta hanno innalzato il livello di attenzione della comunità scientifica (http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/fenomeno_bradisismo.wp).

Dalla valutazione di tutti questi indicatori si può, comunque, dedurre che il grado di Pericolosità è più alto soprattutto in corrispondenza della fascia costiera flegrea, dal momento che l'attività vulcanica dell'area è progressivamente migrata verso di essa.

La perdita del Valore sarà in ogni caso differente a seconda della presenza di abitanti, di risorse economiche e culturali, più in generale del grado di infrastrutturazione dei singoli ambiti territoriali. Per meglio comprendere dove questo Valore Esposto sia maggiore, abbiamo realizzato delle elaborazioni cartografiche, che riportiamo nel paragrafo successivo, nelle quali sono stati messi in relazione il Rischio vulcanico, l'edificato e le risorse territoriali dell'Area Flegrea. In tale operazione ci siamo riferiti anche ad un più recente modello di valutazione del Rischio, il BET-EF, proposto nel 2013 ed applicato ai Campi Flegrei su richiesta della Protezione Civile. Esso si basa sull' "albero degli eventi", un grafico ramificato che, integrando varie fonti di informazione con le effettive incertezze sulla conoscenza del fenomeno, permette di effettuare stime sula possibilità che esso si verifichi. Nel caso dell'Area Flegrea, sono stati esaminati alcuni parametri: la storia eruttiva della caldera, la dinamica delle crisi dal 1988, i risultati di studi e modelli geostrutturali, l'analisi del comportamento di altre caldere considerate "analoghe", fino a modelli interpretativi delle anomalie registrate dal sistema di monitoraggio. La soggettività delle scelte è stata gestita attraverso una fase di raccolta dell'opinione di più di 30 ricercatori esperti della storia e della dinamica dei Campi Flegrei. Il modello così prodotto (BET-EF_CF) è in grado di analizzare in tempo reale i risultati delle misure del sistema di controllo e di fornire automaticamente stime di lungo termine, basate su modelli e dati relativi alla storia del vulcano, e stime di breve termine, basate sull'interpretazione delle misure di monitoraggio. Da un'analisi preliminare sui dati raccolti dal 2011, BET-EF_CF identifica un primo marcato episodio di instabilità, dovuto ad un rapido sollevamento (*uplift*), a partire dalla primavera 2011 e durato fino alla fine dello stesso anno, benché nell'ultimo periodo l'anomalia della velocità di *uplift*, dunque il grado di instabilità, sia stato più debole. A partire da agosto 2012 si è osservata di nuovo una velocità di *uplift* superiore alla soglia che si è protratta per tutto il 2013 (Selva *et al.*, 2013, p. 52).

4. Gli strumenti cartografici

Le analisi applicate alla gestione del Rischio in diversi contesti territoriali hanno messo in luce il ruolo centrale assunto dalla rappresentazione cartografica come supporto alla ricerca e strumento per la pianificazione e la divulgazione del Rischio ambientale, (Ciavola, *et al.*, 2008, p. 755; Soru e Incollu, 2001, p. 254) e del Rischio vulcanico. Nel 2013 ad esempio, la Regione Sicilia ha prodotto un documento nel quale sono stati individuati e rappresentati, in carte tematiche, gli scenari di Rischio nell'Area Etnea, le zone con diverso livello di criticità e di allerta, i settori e i modelli di intervento nelle singole zone, infine le modalità di informazione e comunicazione per garantire la giusta fruizione del territorio e la conseguente mitigazione del Rischio.

Nel nostro caso, le moderne applicazioni ci hanno permesso di mettere in relazione variabili diverse quali lo sviluppo urbano, le risorse del territorio e il Rischio vulcanico, per produrre una cartografia utile ad una pianificazione strategica, compatibile con le caratteristiche e le criticità presenti, nella quale vengono individuati i comuni in cui Rischio e Pericolosità risultano più elevati. La sovrapposizione dei diversi *layer* ci ha con-

sentito di comprendere anche il Valore Esposto dal punto di vista demografico, economico, storico-culturale e archeologico di fronte alla possibilità di un'eruzione. In tal modo è stato possibile produrre dei quadri di sintesi utili alla programmazione strategica in un'ottica di analisi olistica, che aiuta anche a ricostruire i possibili scenari futuri dell'emergenza e a definire criteri operativi e priorità d' intervento.

Le rappresentazioni cartografiche delle figure 4, 5 e 6 sono frutto di elaborazioni su carte a piccola scala[6]. Nella figura 4 sono state combinate le elaborazioni geologiche e vulcanologiche realizzate da D'Andrea (1994) con quelle relative all'edificato. L'ottica interdisciplinare si è rivelata particolarmente efficace per mettere in relazione le superfici urbanizzate e il Rischio vulcanico il quale, in base alla sua entità riferita dalle ricerche geofisiche, viene rappresentato a scala comunale con un colore differente. È emerso così che nei comuni costieri la Vulnerabilità è più alta per la maggiore densità edilizia e demografica che viene confermata dai dati Istat, secondo i quali oggi a Pozzuoli risiedono 81.000 persone (1.870 ab/kmq), a Bacoli 27.000 (2.002 ab/kmq) e 13.000 a Monte di Procida (3.537 ab/kmq).

Nella figura 5, in cui sono stati sovrapposti i *layer* del Rischio e quelli del corredo infrastrutturale del territorio, viene confermato il più alto grado di Vulnerabilità del comune di Pozzuoli, attraversato da tutte le linee ferroviarie che mettono in comunicazione l'Area Flegrea con la vicina metropoli partenopea. Qui si trova anche la principale infrastruttura portuale di collegamento dell'area con le isole di Ischia e Procida ed è in questo comune che si concentrano i principali siti industriali ora dismessi.

La rappresentazione della figura 6 è stata realizzata sovrapponendo su una carta dell'uso del suolo i *layer* delle risorse territoriali flegree, identificate su base IGM 1:25.000, georiferite e posizionate. La rappresentazione mostra che, nonostante esse – dai biositi ai beni archeologici, identitari, religiosi e storici – siano distribuite abbastanza uniformemente sull'intera superficie territoriale, sono i comuni di Pozzuoli e Bacoli a ricoprire, in questo comparto, un ruolo centrale. In essi si trova, infatti, la maggior parte dei beni archeologici e storico-monumentali risalenti all'età greco-romana ed è questa l'area soggetta ad un più elevato Rischio vulcanico[7].

6 ESRI (UTM 33, Sistema di riferimento WGS 84).

7 La costa di Pozzuoli inizia con il Parco Archeologico del Rione Terra che include il primo insediamento urbano di età classica: l'acropoli, la rocca, il *castrum* ed il centro religioso. Qui, dove si conservano le tracce dell'impianto viario del 194 a.C., dopo l'evacuazione in seguito al bradisismo del 1970 ed un lungo periodo di abbandono, sono stati avviati i lavori di recupero e valorizzazione che hanno reso fruibile un primo tratto dell'interessante percorso archeologico sotterraneo con le vistose tracce di un decumano e di un cardine, fiancheggiati dalle ancora intatte *tabernae*. A Pozzuoli si trova anche l'Anfiteatro Neroniano-Flavio iniziato sotto Nerone e completato da Vespasiano che misura 149x116 metri, con un'arena di 75x42 e che poteva contenere circa 20.000 spettatori. Di esso sono ben conservati i sotterranei, dove è stato possibile studiare il complesso sistema di sollevamento delle gabbie con le belve. Il rinvenimento al porto di Pozzuoli durante uno scavo nel 1750 di un tempio con una statua del dio egiziano Serapis indusse gli studiosi ad intitolare "Serapeo" l'edificio il cui spazio nel I-II sec. d.C. venne utilizzato con la funzione di *macellum* (mercato) annesso all'area portuale. Le tre colonne in marmo cipollino presentano evidenti tracce di fori praticati dai litodomi che testimoniano l'alterno movimento bradisismico dell'area che in alcuni periodi si è trovata al di sotto del livello del mare. Anche nel territorio comunale di Bacoli è concentrato un gran numero di beni culturali tra cui il Parco Archeologico, con templi dedicati a Mercurio, Diana, e Venere e le rovine di Cuma che ospitano il famoso Antro della Sibilla dove, secondo il racconto di Virgilio, la leggendaria sacerdotessa di Apollo dava i responsi del dio. Esso ricorda l'architettura funeraria di ispirazione cretese-micenea, anche se di recente è stata attribuita alla struttura una funzione difensiva della sottostante area portuale. Il Castello Aragonese di Baia, che domina il golfo di Pozzuoli in posizione strategica, fu ampliato dal viceré spagnolo don Pedro de Toledo e fu destinato all' Orfanotrofio militare dal 1927; dal 1993 una cospicua parte di esso ospita il Museo Archeologico. Ancora a Baia c'è il Parco sommerso che include il *Portus Julius* adibito ad arsenale della flotta di Miseno, realizzato dallo stratega Marco Vipsanio Agrippa nel 37 a.C., durante la Guerra Civile tra Ottaviano e Sesto Pompeo, oggi sommerso per effetto del bradisismo discendente. La carta mostra anche le risorse naturali tra le quali a Pozzuoli è il vulcano della Solfatara con il suo cratere ellittico che risale a circa 4.000 anni fa, l'unico dei Campi Flegrei ancora attivo – l'ultima eruzione risale al 1198 – con impressionanti manifestazioni fumaroliche che lo rendono meta di un gran numero di visitatori durante tutto l'arco dell'anno. Sul Monte Nuovo, il più giovane d'Europa, è stata istituita un'oasi faunistica mentre quella del Cratere degli Astroni è una riserva naturale che vanta una rigogliosa vegetazione ricca di lecci, castagni, querce, olmi e pioppi. Nel territorio comunale di Monte di Procida sono presenti invece quelle seppur limitate colture di qualità che hanno dato vita alle produzioni vinicole flegree, caratterizzate da una elevata specificità riconosciuta dall'attribuzione del marchio DOC alla Falanghina – alla coltura della quale sono destinati 145 ha dei 175 totali destinati alla viticoltura nell'area –, al Piedirosso e ad alcune varietà del Coda di Volpe, del Biancolella, dell'Olivella e dello Sciascinoso.

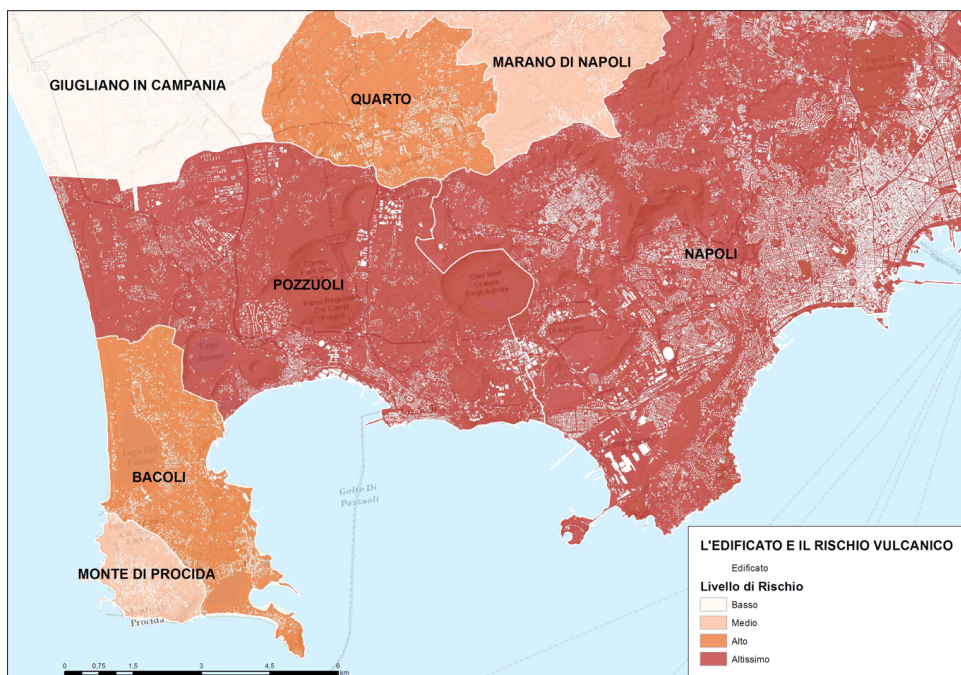
FIGURA 4 – L'edificato e i diversi livelli di Rischio vulcanico nell'Area Flegrea

FONTE: Elaborazione dell'autore su Provincia di Napoli e D'Andrea, 1994

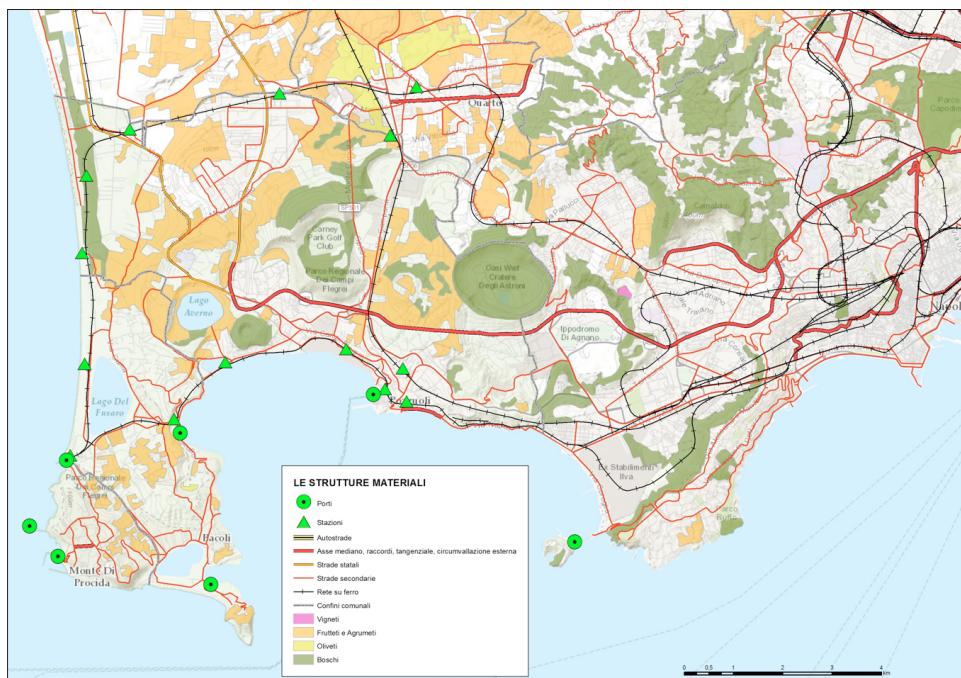
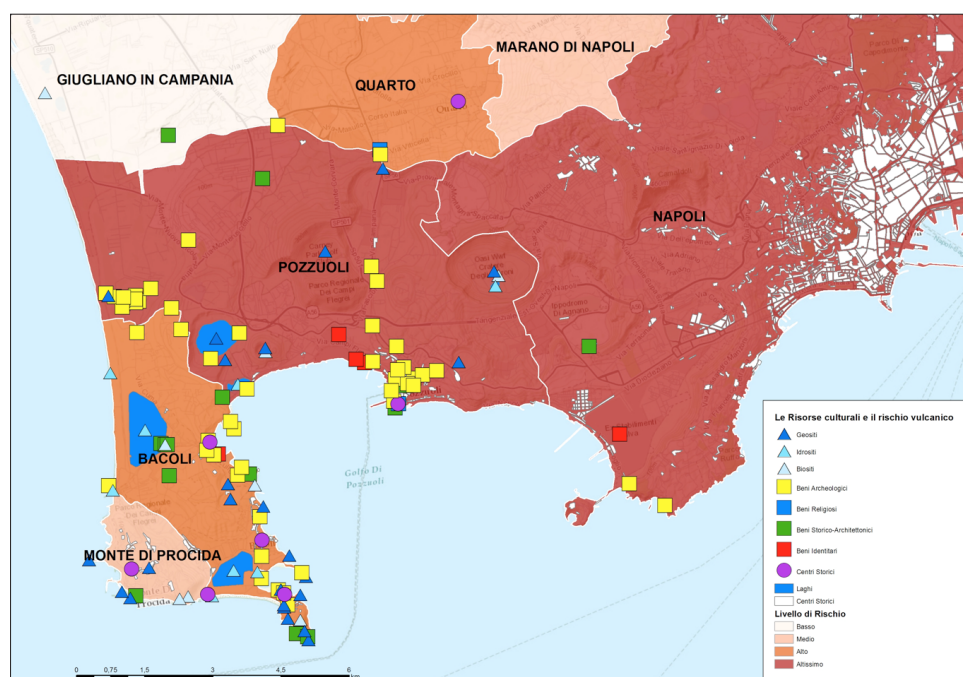
FIGURA 5 – Le strutture materiali dell'Area Flegrea

FONTE: Elaborazione dell'autore su Provincia di Napoli

FIGURA 6 – Il Rischio vulcanico e le risorse territoriali nei Campi Flegrei

FONTE: Elaborazione dell'autore su Regione Campania

5. Considerazioni conclusive

Il primo aspetto che emerge da questa ricerca è il ruolo fondamentale che i Sistemi Informativi Geografici ricoprono anche nelle politiche di gestione e pianificazione del Rischio. Lo strumento cartografico è, infatti, servito come supporto non solo alla ricerca, ma anche alla divulgazione dei contenuti sulla Pericolosità e il Rischio. Le moderne geotecnologie permettono di organizzare articolate banche dati e di realizzare cartografie dettagliate, utili per la gestione di possibili emergenze. Diversi studi condotti su queste tematiche si sono avvalsi dei GIS per individuare e mappare le aree maggiormente esposte (Felpeto *et al.*, 2007; Toyos *et al.*, 2007; Constantinescu *et al.*, 2011) o per elaborare una cartografia sulla Vulnerabilità sociale ed economica di territori sviluppatisi all'ombra di edifici vulcanici attivi (Aceves-Quesada *et al.*, 2007; Alcorn *et al.*, 2013).

Anche in questo lavoro, le elaborazioni geospaziali ci hanno consentito un approccio multidisciplinare nel quale sono state messe in relazione valutazioni di tipo geofisico con altre di carattere socio-demografico, per individuare le zone più esposte al Rischio. Con l'ausilio del medesimo strumento, abbiamo rappresentato le conclusioni cui siamo giunti, consapevoli del ruolo che il supporto cartografico ricopre nelle politiche di pianificazione territoriale e nelle azioni di educazione e diffusione delle conoscenze.

Se da un lato si potrebbe operare una stima del Valore Esposto delle strutture materiali presenti nei Campi Flegrei, non è certo possibile tentare la stessa operazione per quanto riguarda le risorse naturali. È dunque molto difficile tentare una valutazione economica dei danni che verrebbero causati nell'area da un'eventuale eruzione.

La Pericolosità, d'altra parte, rappresenta una variabile rispetto alla quale non è possibile intervenire in quanto non dipendente dalla volontà dell'uomo. Ci chiediamo, tuttavia, quali siano le strategie che dovrebbero essere messe in atto rispetto al Rischio per la popolazione in caso di un'eruzione.

La comunità scientifica, pur concorde sulla scarsa probabilità di una immediata ripresa dell'attività eruttiva, auspica l'attuazione di misure per mitigare il Rischio vulcanico in un'area nella quale la densità di popolazione è tale che, per portare il fattore Rischio a livelli medi, sarebbe necessaria una drastica riduzione dei residenti. L'operazione, tuttavia, avrebbe dei costi sociali ed economici talmente elevati da renderla inattuabile. In molti casi addirittura, sono state fatte scelte in totale contraddizione con i principi della sicurezza stessa, come quando fu costruito il quartiere di Monterusciello per fronteggiare l'emergenza bradisismica degli anni Ottanta che ha finito tuttavia con l'accrescere la densità demografica proprio in un'area ad elevato coefficiente di Rischio vulcanico.

Le difficoltà per una corretta pianificazione del territorio sono, quindi, di difficile superamento: oltre a seguire i moniti della comunità scientifica e della Protezione Civile a porre un freno all'urbanizzazione e a limitare il più possibile il numero di abitanti attraverso delle campagne di scoraggiamento a scegliere l'area come propria residenza, non rimane che adoperarsi per una corretta informazione ed educazione al Rischio di tutti coloro che, a diverso titolo, operano sul territorio (Fralliciardi, 1998, p. 327). In questa operazione potrebbe essere utile, a nostro avviso, la diffusione di una cartografia del Rischio, come quella proposta in questa sede, nella quale vengono localizzate le aree dove il livello di allerta dovrebbe mantenersi più elevato. Essa infatti, è stata realizzata tenendo conto anche di quanto riferito dal sistema di monitoraggio dei Campi Flegrei, gestito dall'Osservatorio Vesuviano, che ha registrato nel 2013 delle variazioni dei parametri di Pericolosità: movimenti sismici, deformazioni del suolo e caratteristiche fisico-chimiche delle fumarole. I ricercatori dell'INGV-OV hanno presentato, così, una serie di dati rilevati e documenti alla Commissione Grandi Rischi – Settore Rischio Vulcanico che ha confermato la necessità di innalzare lo stato di allerta per i Campi Flegrei. Dal livello "base", che corrisponde all'attività ordinaria del vulcano, si è così passati al livello di "attenzione", con la creazione di un sistema di monitoraggio continuo e l'attivazione di un raccordo informativo costante tra la comunità scientifica e le altre componenti e strutture operative del Servizio Nazionale della Protezione Civile.

I Campi Flegrei sono, dunque, un'area in cui, sebbene la Pericolosità si mantenga ancora su livelli abbastanza controllati, il Rischio rimane alto perché la Vulnerabilità è alta, non solo in termini di risorse ma anche di vite umane. Di qui la necessità di portare questo fattore entro limiti accettabili, attraverso una pianificazione urbanistica e una programmazione d'uso del territorio che, servendosi anche di una cartografia *ad hoc*, intervenga sulla Vulnerabilità e sul Valore Esposto, data l'impossibilità di intervenire sulla Pericolosità, almeno per quanto concerne il Rischio vulcanico.

Nella categoria del Valore Esposto, tuttavia, rientra anche quello del "capitale natura", minacciato dal degrado. Nel caso dei Campi Flegrei, sarebbe necessario intervenire prima di tutto per la bonifica ed il recupero delle aree industriali dismesse, vuoti urbani che rappresentano un elemento deturpane il paesaggio e soprattutto una mancata occasione di sviluppo per tutto il territorio partenopeo.

Poi c'è la difficile questione delle discariche che si trovano oggi in prossimità dei centri abitati e che, laddove esaurite, potrebbero essere recuperate anche attraverso interessanti opere di ingegneria del paesaggio (Leone, 2006, p. 120).

Una cartografia articolata, che permetta la visione congiunta di tutte queste variabili che coesistono ed interagiscono contemporaneamente con il *milieu* locale, si rivela, anche in questo caso, particolarmente utile per la pianificazione di un territorio tanto complesso come quello flegreo, dove il Rischio assume la doppia connotazione di ambientale e vulcanico, con tutte le difficoltà che derivano dalla necessità di operare su più fronti: dal controllo della densità demografica e dello sviluppo delle superfici artificiali alla tutela delle numerose ed imponenti risorse storiche, culturali ed archeologiche presenti.

Bibliografia

ACEVES-QUESA DA J.F., DÍAZ-SALGADO J.e LÓPEZ-BLANCO J. (2007), Vulnerability assessment in a volcanic risk evaluation in Central Mexico through a multi-criteria-GIS approach, "Natural Hazards", 40, pp. 339-356.

ALBERICO I., PETROSINO P., MAGLIONE G., BRUNO L., CAPALDO F.S., DAL PIAZ A., LIRER L. e MAZZOLA S. (2012), Mapping the vulnerability for evacuation of the Campi Flegrei territorial system in case of a volcanic unrest, "Natural Hazards", 64, 2, pp. 1823-1854.

ALCORN R., PANTER K.S. e GORSEVSKI P.V. (2013), A GIS-based volcanic hazard and risk assessment of eruptions sourced within Valles Caldera, New Mexico, "Journal of Volcanology and Geothermal Research", 267, pp. 1-14.

BELLUCCI SESSA E., BUONONATO S., DI VITO M., e VILARDO G. (2008), Caldera dei Campi Flegrei: potenzialità di un SIT per valutazioni di pericolosità vulcanica, Atti della 12a Conferenza Nazionale ASITA (L'Aquila, 21-24 ottobre 2008), pp. 353-358

CIAVOLA P., ARMAROLI C., MASINA M., PERINI L. e LUCIANI P., ((2008), Nuovi metodi per la cartografia del rischio di inondazione marina: l'esperienza in Emilia Romagna, Atti 12a Conferenza Nazionale ASITA, L'Aquila 22-24 ottobre 2008, ASITA, Vol. 1, pp. 755-760.

CONSTANTINESCU R., THOURET J.-C. e IRIMUŞ I.-A. (2011), Computer modelling as tool for volcanic hazards assessment: an example of pyroclastic flow modeling at El Misti Volcano, Southern Peru, "Geographia Technica", 2, pp. 1-14.

DE ASTIS G., DI VITO M., ISAIA R., NAVE R., ORSI G., PAPPALARDO L., PIOCHI M. e SANSIVERO F., (2000), I vulcani napoletani: Pericolosità e Rischio, Pubblicazione realizzata con fondi assegnati a Giovanni Orsi dalla Protezione Civile e dal Gruppo Nazionale per la Vulcanologia per attività di formazione e informazione nell'ambito di un protocollo d'intesa fra Osservatorio Vesuviano, Provveditorato agli Studi e Prefettura di Napoli.

FELPETO A., MARTI J. e ORTIZ R. (2007), Authomatic GIS-based system for volcanic hazard assessment, "Journal of Volcanology and Geothermal Research", 166, pp. 106-116.

FRALLICCIARDI A.M. e SBORDONE L. (1992), Prime valutazioni dello stato di salute dei Campi Flegrei, Atti del Convegno La Geografia medica e gli ecosistemi, Quarto seminario internazionale di Geografia Medica, Roma, 4-6 dicembre 1991, Rux Editrice, Perugia, pp. 179-195.

FRALLICCIARDI A.M. (1998), Un caso ambiguo di rischio naturale, in LEONE U. (a cura di), Rischio e degrado ambientale in Italia, Patron Editore, Bologna, pp. 322-335.

FRALLICCIARDI A.M. (1999), Un insolito itinerario nei Campi Flegrei, in MAUTONE M. (a cura di), Un quaderno per l'ambiente, AIIG, n. 5, Arte Tipografica, Napoli, pp. 25-47.

ISPRA (2013), Qualità dell'ambiente urbano, Roma.

LEONE U. (2006), Sicurezza ambientale, Guida Editore, Napoli.

LIRER L. (1994), La pericolosità vulcanica nell'area metropolitana napoletana, in CIRAM, Università Federico II di Napoli, (a cura), Rischi naturali ed impatto antropico nell'area metropolitana napoletana, Guida Editori, Napoli, pp. 79-101.

MAC EDONIO G., COSTA A. e FOLCH A. (2008), Ash fallout scenarios at Vesuvius: Numerical simulations and implications for hazard assessment, "Journal of Volcanology and Geothermal Research", 178, pp. 366-377.

MARTA M. (2010), Rischi e potenzialità ambientali per la città in crisi, in MAGGIOLI M. (a cura di), La città oltre la crisi, "Semestrale di Studi e Ricerche di Geografia", 1, pp. 73-90.

NEWHALL C.F. e SELF S. (1982), The Volcanic Explosivity Index (VEI): an estimate of explosive Magnitude for historical eruptions, "Journal of Geophysical Research.", n. 87, pp. 1231-1238.

PESARESI C. e MARTA M. (2014), Applicazioni GIS per l'analisi dell'urbanizzazione nella provincia di Napoli. Un'analisi multitemporale in aree esposte a elevato rischio vulcanico, "Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia", n.150, 2014, Brigati, Genova, pp. 34-53.

REGIONE SICILIANA (2013), Procedure di allertamento rischio vulcanico e modalità di fruizione per la zona sommitale del vulcano Etna, Dipartimento Regionale della Protezione Civile, Servizio Rischio Vulcanico Etneo.

RENSCHLER C.S. (2005), Scales and uncertainties in volcano hazard prediction-optimizing the use of GIS and models, "Journal of Volcanology and Geothermal Research", 139, 1-2, pp. 73-87.

ROMANO B., ZULLO F., ROLLO P. e IEZZI C. (2011), Conversione urbana dei suoli in Italia centro-meridionale. Analisi dagli anni '50 ad oggi in un campione di regioni italiane, Atti della 12a Conferenza Scientifica Annuale dell'Associazione Italiana di Scienze Regionali Il ruolo delle città nell'economia della conoscenza, Politecnico, Torino.

SCANDONE R., ARGANESE G. e GALDI F. (1994), La valutazione del rischio vulcanico nell'area vesuviana, in CIRAM, Università Federico II di Napoli (a cura), Rischi naturali ed impatto antropico nell'area metropolitana napoletana, Guida Editori, Napoli, pp. 123-145.

SCANDONE R. e D'ANDREA M. (1994), Il rischio vulcanico, in DI DONNA V. e VALLARIO A. (a cura di), L'ambiente: Risorse e rischi, Liguori Editore, Napoli, pp. 130-150.

SELVA J., SANDRI L., MARZOCCHI W. e PAPALE P. (2013), Stima della probabilità di eruzioni, "Ambiente, Rischio, Comunicazione", Quadrimestrale di analisi e monitoraggio ambientale, n. 5, Che succede ai Campi Flegrei? Febbraio 2013, pp. 49-57.

SORU A.M. e INCOLLU G. (2001), Applicazione del GIS nella valutazione del rischio di erosione in ambito di pianificazione di area vasta (Il caso del P.U.P. di Nuoro), in SCANU G. (a cura di), Atti del Convegno Nazionale Cultura Cartografica e Culture del Territorio, Sassari, 12-13 dicembre 2000, Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia, gennaio-dicembre 2001, nn. 111-112-113, Brigati, Genova, pp. 253-282.

TOYOS G.P., COLE P.D., FELPETO A. e MARTÍ J. (2007), A GIS-based methodology for hazard mapping of small pyroclastic density currents, "Natural Hazards", 41, 1, pp. 99-112.

Siti web

http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/fenomeno_bradisismo.wp, data di ultima consultazione: aprile 2014

Le applicazioni per dispositivi mobili e il loro utilizzo in campo cartografico. L'esempio della app GISLAB-UNITS

Mobile apps and their use in the cartography's field. The GISLAB-UNITS case

MASSIMILIANO SCHERBI*,**

Riassunto

Da quando le app hanno iniziato ad esser distribuite nel 2008, sia il loro sviluppo che il loro utilizzo sono costantemente cresciuti negli anni. Ormai sono disponibili app per qualsiasi argomento: dalla consultazione di quotidiani allo shopping, dal fitness alla musica. Molte di queste sono legate alla cartografia o più semplicemente sfruttano il sistema GPS (***Global Positioning System***) del dispositivo utilizzato per indicare la posizione dell'utente e potergli quindi fornire le informazioni più interessanti in base all'area in cui si trova. Si prenderà qui ad esempio la ***app GisLab – UniTS***, sviluppata dal Laboratorio GIS dell'Università degli Studi di Trieste, la quale si basa proprio sulle potenzialità offerte da questo tipo di programmi, anche per promuovere forme di turismo 'alternativo' (turismo sostenibile, turismo rurale, ecc.).

Abstract

Apps' development and use has constantly grown over the years, since they first began appering in 2008. Nowadays there's an app for any purpose: from reading newspapers to shopping, from fitness to music. Many of these are cartography's related or they simply use the GPS system (Global Positioning System) to indicate the user's position and give him/her the most suitable information according to the area in which he/she is. Here, we are going to take into consideration the GisLab – UniTS app, developed by Laboratorio GIS of the University of Trieste, which uses some of the possibilities offered by this kind of computer program, also to promove an 'alternative' tourism.

Parole chiave

App, gps, mappe, turismo alternativo

Keywords

App, gps, maps, alternative tourism

* Università di Trieste – maxscherbi@gmail.com

** Premio AIC 2013

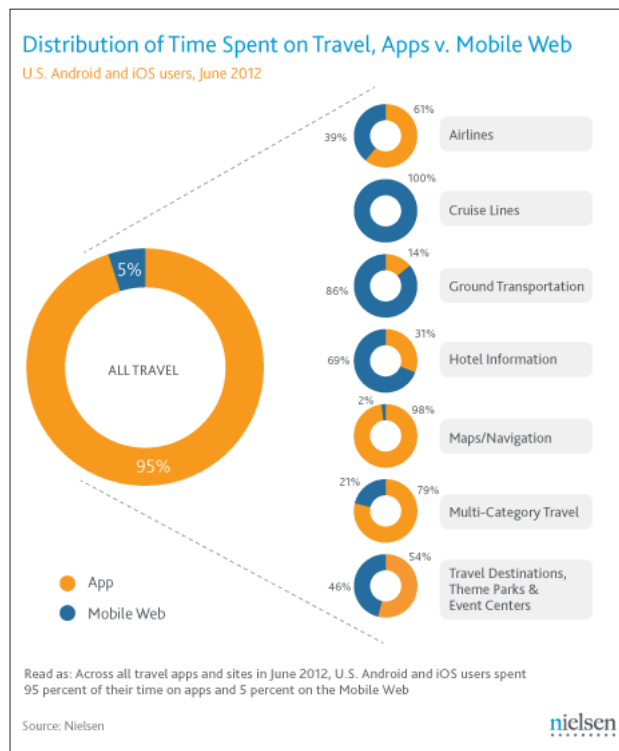
1. Le *mobile app* per il turismo

Gli strumenti digitali dedicati a chi ama viaggiare e conoscere posti nuovi che si affiancano alle tradizionali guide turistiche sono in continuo aumento. Il numero delle *app*[1] che consentono di prenotare voli e hotel, raccogliere e condividere informazioni sulle proprie mete di viaggio o per trovare luoghi di interesse sono sempre più numerose. Se da un lato esse sono vantaggiose per gli utenti, che possono ad esempio prenotarsi la vacanza in qualsiasi momento, dall'altro sono vantaggiose anche per tutti coloro che hanno a che fare con il turismo. In tal senso, esse possono essere uno strumento ideale per valorizzare il patrimonio turistico-culturale di un determinato territorio e di quelle imprese che vi operano, dalle istituzioni statali alle aziende private. Infatti, le guide turistiche su *smartphone* sono oggi una delle possibilità di promozione territoriale più efficaci. L'utente si scarica la *app* dedicata sul suo dispositivo e la può consultare in qualsiasi momento ancora prima di essere fisicamente in quel determinato luogo.

La geolocalizzazione dei punti di interesse, la molteplicità dei contenuti e la personalizzazione degli stessi fanno sì che le *app* turistiche offrano all'utente uno strumento pratico e intuitivo per poter visitare il territorio autonomamente e poterne apprezzare appieno le bellezze.

Secondo una ricerca condotta dall'agenzia americana Nielsen (figura 1) e pubblicata nel 2012, ben il 95% degli utenti statunitensi ha usufruito nell'estate di quell'anno di *app* dedicate al turismo contro il 5% che ha preferito il *mobile web*.

Le *app* garantiscono, in genere, una fruizione "sul campo" degli argomenti trattati. I dispositivi *mobile* vengono di solito associati a un utilizzo "mordi e fuggi" piuttosto che esser considerati uno strumento di apprendimento vero e proprio. Si pensa invece, che proprio attraverso questi mezzi si possa stimolare le persone a visitare delle mete turistiche minori, meno

FIGURA 1 – Percentuali di utilizzo delle app e del mobile web dedicati al turismo

FONTE: Nielsen, 2012

conosciute, riferibili ad un turismo fuori dalle masse, una sorta di turismo 'alternativo' in forte espansione negli ultimi decenni. Sulla base di queste considerazioni si capisce quanto le *app* dedicate a questi temi siano molto utili per la riscoperta turistica di luoghi misconosciuti e di quanto possano essere comode ovunque vi sia una buona "connessione dati".

Esempi di *app* massivamente diffuse sono, ad esempio, *Skyscanner*, dedicata alla ricerca dei voli più convenienti, utilizzata da 35 milioni di persone (Skyscanner, App Store, 2015), e *Google Maps*, che solo nel 2014 ha avuto oltre 79 milioni di utenti unici, classificandosi al quinto posto della classifica della app più popolari dell'anno (www.iSpazio.net).

È in questo contesto che nasce l'idea di sviluppare un sito internet dedicato al visitatore che voglia "esplorare territori sconosciuti" e solamente sfiorati dal turismo di massa. In una prima versione è stata sviluppata

1 Abbreviazione di "Application software". È un programma informatico sviluppato per esser usato su *smartphone*, *tablet* e altri dispositivi *mobile*. Il suo commercio è gestito da un apposito distributore digitale (*store* o *market*) vincolato a un sistema operativo (iOS, Android, Windows, etc.).

una piattaforma *WebGis* creata in OpenLayers e raggiungibile al sito http://disugis.units.it. Questo prodotto turistico, il *target* di riferimento e i principali obiettivi del progetto sono già stati descritti dettagliatamente in un precedente contributo (Favretto et al., 2014).
Questo articolo ne rappresenta l'evoluzione: infatti, al fine di garantire maggiore diffusione del progetto, in una seconda fase è stata creata una *app* che ricalca i contenuti del sito di cui sopra. Questa app è stata sviluppata dall'autore sia nella sua versione *mobile friendly* che in quella iOS. Come per il caso precedente, l'obiettivo è quindi quello di presentare questa nuova *app* mediante la quale vengono illustrate le attrattività di luoghi sconosciuti (o comunque scarsamente frequentati) e approfondire, senza pretese di esaustività, la loro conoscenza, poiché si è vista nel mercato attuale una certa carenza in merito.

2. Dal sito *web* alla mobilità: una versione *mobile friendly*

Come già accennato, in una prima fase progettuale è stato sviluppato un WebGIS per la diffusione di itinerari alternativi. Per rendere il tutto accessibile anche in mobilità si è dovuto ricorrere a dei cambiamenti in termini di sviluppo.

In una prima fase si è ipotizzato di modificare il sito preesistente con l'obiettivo di ottimizzare la sua fruizione anche da dispositivi mobili (*smartphone* e/o tablet). In pratica, l'utente si connette al sito con il proprio *browser* e sceglie la 'modalità *mobile*'. Il primo passo verso la fruizione del sito secondo questa modalità ha visto l'utilizzo del *Web framework*[2] di jQuery[3] *mobile*. La scelta è stata fatta sia per rendere accessibili i contenuti

FIGURA 2 – Visualizzazione del percorso

Elaborazione dell'autore

al maggior numero di utenti possibile senza privilegiare un *market* piuttosto che un altro, sia perché ci si è accorti che visualizzando la versione "classica" del sito su dispositivo *mobile*, all'aumentare del rapporto di scala i segnaposto (o *marker*) tendono a rimpicciolirsi, rendendo così difficile l'apertura dei *pop-up* a loro associati. La visualizzazione e la visualizzazione delle informazioni collegate risultano quindi problematiche.

Proprio per questo si è "rivoluzionato" il progetto sia per dimensioni grafiche che per modalità di accesso ai contenuti. Se la struttura sottostante il sito *web*, propria di OpenLayers (con i relativi *file* .html, .css, .txt e JavaScript), è rimasta sostanzialmente invariata, dal punto di vista grafico sono stati realizzati dei cambiamenti sostanziali.

2 Framework: in informatica, è una struttura che offre il codice già scritto in precedenza e lascia al programmatore il compito di sviluppare il contenuto vero e proprio dell'applicazione. Per esempio il tipo di interazione con l'utente offerto da un menu a tendina sarà sempre lo stesso indipendentemente dall'applicazione cui il menu appartiene. Il programmatore aggiunge solo le funzionalità del menu a tendina con poche righe di codice sorgente.

3 È una libreria di funzioni JavaScript per applicazioni *web*, che semplifica la programmazione delle pagine html. Si tratta di un *software* gratuito e liberamente distribuibile, pubblicato per la prima volta nel 2006 e tuttora in evoluzione.

Come si può vedere nella figura 2, ciò che nel sito era compreso interamente nel menu a tendina, è stato sostituito con pulsanti dedicati: il titolo dell'itinerario, i *layers*[4] a disposizione dell'utente, i punti di interesse, il ritorno alla *Homepage*.

L'utente può scegliere fra diverse mappe di base. Selezionando *Layers* si è in grado di cambiare tipo di mappa, ma in questo caso, a differenza del sito, le versioni disponibili sono solamente quattro: OpenStreetMap, Google Street, Google Satellite e Bing Hybrid. Dal pulsante "*Punti di interesse*", invece, si accede alla lista dei punti di interesse (POI) del percorso (figura 3) corrispondenti a quelli predisposti alla voce "*Legenda*" nel sito *web* tradizionale. La lista dei POI è corredata dalla foto del luogo, qualora presente.

Per facilitare la navigazione tra i punti è stata inserita una barra di ricerca all'inizio della lista.

Per dare ulteriore uniformità dal punto di vista grafico, i *file* pdf con la descrizione dei punti sono stati sostituiti da pagine html. Sono state aggiunte ulteriori informazioni sul percorso, come la descrizione generale del progetto, la lunghezza dei tratti, la tempistica necessaria per affrontare un determinato tratto o altre informazioni disponibili selezionando la voce "*Info percorso*".

Per lo sviluppo di questa versione il tempo impiegato è stato di circa un mese. La parte che ha richiesto più tempo è stata quella dedicata all'adattamento dei contenuti. Se nella versione *web* i *file* che contenevano le informazioni (generalmente in formato pdf) venivano inseriti così com'erano stati redatti dagli autori, in questo caso si è dovuto dare uniformità alle parti testuali e quindi riadattare tutto utilizzando il linguaggio html. Per la gran parte degli altri contenuti è stato possibile riutilizzare, facendo delle minime modifiche, i *file* del sito tradizionale (.txt, .css, JavaScript).

Questa versione *mobile friendly*, seppur molto simile a quella più classica del *web*, presenta alcuni limiti e alcuni vantaggi. Il limite principale è che i POI non sono selezionabili. Questo va a influire negativamente sull'interattività dell'applicazione, quindi sull'idea di base da cui si era partiti per lo sviluppo del sito. Inoltre, come il sito *web*, anche questa versione ha bisogno

4 Layer: letteralmente strato. È un livello che va a sovrapporsi al precedente, in questo caso alla mappa.

FIGURA 3 – Interfaccia dei punti di interesse

Elaborazione dell'autore

di costante accesso alla rete, altrimenti i contenuti non sono consultabili. Le dimensioni delle mappe sono piccole e quindi queste ultime sono di difficile lettura.

I vantaggi sono il poter mantenere un certo numero di tipologie di mappa di sfondo e il poter rendere il tutto "meno pesante" in termini di scaricamento dati.

3. Itinerari turistici alternativi: dal *web* alla *app* GisLab – UniTS per iOS8

A seguito delle considerazioni fatte in merito agli svantaggi che la versione *mobile friendly* offre, si è deciso di sviluppare una vera e propria *app* per *smartphone*

FIGURA 4 – L'alert di avviso per l'utilizzo della tracciabilità GPS

Elaborazione dell'autore

e per *tablet*[5] utilizzando i linguaggi di programmazione propri di tali dispositivi. Per il momento, si è partiti con l'ambiente Apple. Pur consci di rivolgersi solo al 15,5% del mercato (fonte IDC, agosto 2014), tale scelta è stata dettata da motivi meramente pratici, ossia la disponibilità dei mezzi (Mac, iPhone e iPad) e non per privilegiare un *market* piuttosto che un altro. Infatti, tutti i dispositivi ormai sono in grado di fornire le stesse tipologie di servizi (GPS, mappe, visualizzazioni di contributi testuali e fotografici)[6]. La fase di sviluppo ha impiegato un mese e mezzo circa. Come per la versione *mobile friendly* precedentemente descritta, anche in questo caso si è dovuti ricorrere al riadattamento delle immagini per dare alla *app* una certa uniformità.

Per quanto riguarda i contributi testuali, pur mantenendo costante la loro lunghezza, si è scelto di inserirli direttamente nella *app* anziché lasciarli come *file* pdf. Questa soluzione avrebbe comportato il dover utilizzare una applicazione esterna per la lettura degli stessi. Si è quindi optato per una semplificazione dal punto di vista della fruizione del materiale.

Non dovendo accedere ai contenuti esterni di un *database* (e quindi non dovendo appoggiarsi a un server), sia le foto che i testi sono consultabili in qualsiasi momento, direttamente dal dispositivo, anche in assenza di connessione alla rete internet.

E si può facilmente immaginare come questo sia uno dei punti di forza più importanti di questa versione. Tuttavia bisogna sottolineare il fatto che ciò va a scapito delle dimensioni totali della *app*: più dati vengono salvati nella cartella dedicata, più "pesante" sarà l'applicazione.

Dal punto di vista grafico si è scelto un *layout* semplice e che ricalcasse i colori del logo del laboratorio (bianco e azzurro).

Come è possibile vedere nella figura 4, la prima volta che si accede alla *app* una volta scaricata, compare l'*alert* di richiesta per l'utilizzo del GPS in modo da indicare la posizione dell'utente sulle mappe. Una volta completata questa procedura, ci si trova davanti all'elenco degli itinerari disponibili.

Nella *app* vengono presentati i primi dieci percorsi degli undici disponibili sul sito *web*. Scelta fatta in un'ottica futura di una seconda *app* che ne contenga altri dieci.

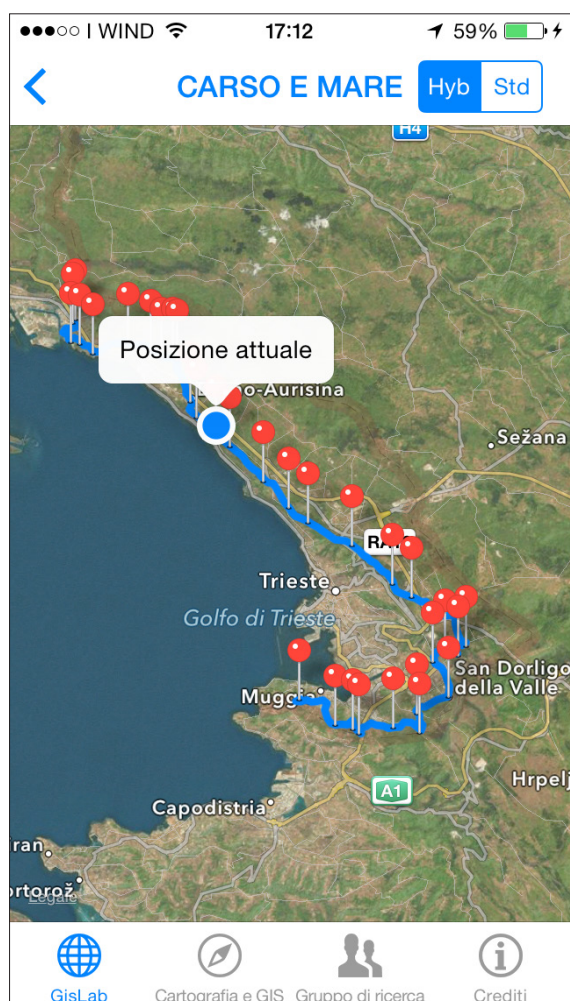
Nella barra in basso sono state posizionate le voci "*Cartografia e GIS*", "*Gruppo di ricerca*" e "*Crediti*". La prima illustra la storia e la materia di studio del laboratorio GIS, la seconda elenca i membri del gruppo di ricerca appunto e l'ultima lo sviluppatore, cioè il sottoscritto, e gli autori dei contributi visivi e testuali degli itinerari.

5 Computer *mobile* munito di *display touch* dove i movimenti delle dita sostituiscono il mouse e la tastiera, fotocamera, microfono e accelerometro.

6 In futuro verrà sviluppata una versione per Android.

FIGURA 5 – Esempio di itinerario

Elaborazione dell'autore

FIGURA 6 – Esempio di pop-up

Elaborazione dell'autore

Ogni voce dell'elenco degli itinerari apre la mappa dedicata. Anche in questo caso, per dare uniformità si è scelto di utilizzare le mappe native di iOS, fornite dalla TomTom. Questo per dare la possibilità all'utente di consultare una tipologia di mappa familiare, in quanto già utilizzata da altre *app* presenti nel *market* Apple (e soprattutto dalla stessa app "Mappe" della casa di Cupertino). Con uno *switch* in alto a destra l'utente può scegliere se visualizzare la mappa ibrida (Hyb; informazione vettoriale sovrapposta a immagini satellitari) oppure quella "standard" (Std).

Nella figura 5 viene presentato uno degli itinerari. La linea è un *layer* composto da singoli punti con le proprie coordinate. Anche nel caso della linea, per dare uniformità, si è scelto di utilizzare il colore azzurro del logo, caratteristica che permette anche un'ottima visualizzazione dello stesso su entrambi i tipi di mappa. I *marker* che rappresentano i POI sono cliccabili, caratteristica che riprende quella del sito iniziale. Per ognuno di questi si apre un *pop-up*, come osservabile nella figura 6, che rimanda a una pagina dedicata. Il punto blu evidenzia la "posizione attuale" dell'utente: questa

FIGURA 7 – Esempio di pagina di un POI

Con la denominazione "Gaeta" s'intende attualmente il tessuto insediativo che si estende oltre l'abitato di Vindicio fino a Punta Stendardo sul Golfo, addentrandosi dal lato opposto fino alla Baia di Serapo. La trama edilizia, che oggi si dirama sul territorio senza soluzione di continuità, comprende realtà profondamente diverse per vicende storico-culturali e profili socio-economici. Nonostante ciò, è ancora possibile distinguere il "borgo di Sant'Elena" dalla "marina di Serapo" fino ad arrivare al vero e proprio "centro di Gaeta", ovvero all'abitato fortificato e compatto che - per la sua posizione strategica - ha rappresentato il fulcro dell'organizzazione territoriale e delle relazioni con il Mediterraneo.

Elaborazione dell'autore

è una delle peculiarità delle mappe su dispositivo *mobile* che indica, tramite l'utilizzo del GPS, la posizione sulla carta, in modo che l'utente possa sapere in tempo reale a quale punto di interesse si trova più vicino. Questa è una delle caratteristiche più rilevanti che manca al sito *web* tradizionale e che ci ha "spinti" a realizzare la versione *mobile*. Le coordinate dei punti e della linea sono state ricavate dai *file kml* utilizzati per il sito *web*[7]. Le pagine di descrizione dei punti sono anch'esse standardizzate: come è possibile vedere nella figura 7 c'è la foto principale in alto, il titolo del percorso, un'icona azzurra di due fotografie, (un pulsante che apre un'ulteriore pagina di approfondimento fotografico per i vari punti del percorso), e il testo.

Nel caso degli itinerari di "Gaeta" e di "Passeggiando a Trieste", è presente un altro pulsante rappresentante una lente d'ingrandimento posizionato in alto a destra della foto principale. Mediante questo strumento si aprono delle pagine che contengono ulteriori informazioni inerenti i percorsi (tra le quali, per esempio, gli orari di apertura di musei o parchi, oppure altre foto per approfondire la conoscenza dei POI).

4. Conclusioni

Nel contributo si sono presentate due applicazioni *software* per la divulgazione dei percorsi turistici a scala nazionale afferenti al progetto (www.disugis.units.it). Come si è sottolineato, il turismo a cui si fa riferimento è meno legato ai flussi "tradizionali", caratterizzato da un elevato numero di presenze e da un sensibile impatto sul territorio. Si è voluto, invece, sviluppare uno strumento per la promozione di aree meno note ma altrettanto pregevoli da un punto di vista naturalistico e/o culturale, con l'intenzione di sostenere un turismo più consapevole e con un approccio meno "consumistico".

Attraverso il *web*, punto di partenza del progetto, ma soprattutto attraverso questi mezzi divulgativi, si intende promuovere un turismo verso mete meno conosciute. Nelle aree caratterizzate da maggior *digital divide* è proprio questa tecnologia innovativa e di larga diffusione lo strumento con cui promuovere il territorio (Di Somma, 2013; Mauro, 2013).

Da un punto di vista tecnico, le due applicazioni *software* realizzate utilizzano piattaforme di sviluppo libere e gratuite. Per la distribuzione però, la seconda (la *app* di iOS) prevede un costo di iscrizione allo *store* di circa 80 Euro annuali. Per gli utenti il servizio è gratuito in entrambi i casi. Se nel primo caso, attraverso la libreria JavaScript di OpenLayers si è in grado di coprire tutte le possibilità offerte dalle nuove tecnologie di *WebMapping*, nel secondo caso si è optato per la "semplicità" ponendo il focus sui contenuti divulgativi.

7 Si è voluto evitare di importare direttamente nel progetto gli stessi *kml* per non dover pesare ulteriormente sulla *app*, ma si è preferito agire direttamente sul codice di programmazione.

TABELLA 1 – Comparazione tra la app GisLab-UniTS e le due app di viaggio più conosciute

	GisLab-UniTS	Trivago	TripAdvisor
Gratuita	X	x	x
Contenuti inseriti dagli utenti	-	-	x
Materiali inseriti gratuitamente	X	x	x
Copertura internazionale	-	x	x
Prodotto commerciale	-	x	x
Itinerari già presenti e non modificabili	X	-	-
Divulgazione scientifico-culturale	X	-	-

FONTE: Elaborazione dell'autore

Ciò non toglie che gli sviluppi futuri, oltre alla versione per Android, prevederanno anche l'implementazione di ulteriori caratteristiche (*features*) quali il poter accedere alla fotocamera direttamente dalla *app*, la condivisione via *social network* e anche l'utilizzo di mappe diverse da quelle native. Questo per renderla più personalizzata e completa.

Nell'universo delle *app* turistiche, GisLab-UniTS intende essere una qualcosa di profondamente diverso rispetto a quelle già disponibili, le quali si focalizzano su una certa area geografica (es. Ponza4U) oppure su di un determinato tema (ad esempio Trivago come motore per la ricerca di hotel *low-cost*).

Gli itinerari proposti, infatti, spaziano dal nord al sud Italia e soprattutto toccano temi diversi: da quello religioso delle "Vie della Fede" a quello ciclo-turistico del "Carso e Mare".

Nella tabella 1 si possono vedere alcune delle peculiarità che contraddistinguono la *app* GisLab-UniTS rispetto ad altre due *app* tra le più utilizzate in campo turistico. Come si nota uno dei punti di forza è l'impronta divulgativa data alla stessa, oltre al fatto di non essere un prodotto commerciale di largo consumo. Anche se il poter essere utilizzate in campo internazionale fornendo recensioni e commenti su migliaia di alberghi e attrazioni turistiche garantisce a Trivago e a TripAdvisor un *appeal* maggiore, nel caso di quest'ultima bisogna però sottolineare il fatto che i contenuti a volte possono essere dubbi. Dalla sua creazione, sono stati numerosi gli studi fatti in merito e a volte si sono aperte addirittura delle vere e proprie indagini. L'accusa mossa principalmente è quella che sostiene che le recensioni non siano autenticamente redatte dagli utenti visitatori ma siano piuttosto il frutto degli stessi proprietari di alberghi, oppure di ristoranti, che si auto-recensiscono fornendo giudizi positivi (Smyth et al., 2010). Anche se TripAdvisor smentisce che ciò avvenga, il dubbio resta.

Nel caso di GisLab-UniTS questo non avviene in quanto gli itinerari presentati non prevedono il giudizio degli utenti, ma vengono solamente illustrati dal punto di vista storico e artistico, lasciando a ciascuno il proprio giudizio personale senza influenzare quello altrui.

Aggiungo anche il fatto che le altre due *app* sono entrambe di proprietà di Expedia, società del gruppo Microsoft, il che ci fa capire quanto questo mercato sia importante e quanto la concorrenza e gli interessi in gioco siano grandi.

Bibliografia

BAGNOLI L. (2010), Manuale di geografia del turismo. Dal grand tour ai sistemi turistici, UTET Università.

BENNETT J. (2010), OpenStreetMap, PACKT Publishing, Birmingham.

BIONAZ N. (2013), La tua azienda su Google Maps, Youcanprint.

BUCANEK J. (2013), iOS7 App Development, Apress, Berkeley, CA.

DE VIRGILIO F., DE NOIA A. (2008), OpenStreetMap, una mappa libera per il nostro pianeta.

DI SOMMA A. (2013), La carta naturale e culturale del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, Bollettino AIC, 149, pp. 57-73.

FAVRETTO A., MAURO G., PETRARULO G., SCHERBI M. (2014), Itinerari per un turismo alternativo: dal web alla portabilità mobile, Bollettino AIC 151, pp. 46-58

ISAACSON W. (2011), Steve Jobs: La biografia autorizzata del fondatore di Apple, Mondadori.

KAHNEY L. (2014), Jony Ive. Il genio che ha dato forma ai sogni Apple, Sperling & Kupfer.

LOZATO-GIOTART J.P. (2008), Geografia del turismo, HOEPLI, Milano.

MAURO G. (2013), Cartografia 2.0: partecipativa o 'esclusiva'?, Bollettino AIC 147, pp. 125-132.

MIGUENS J., BAGGIO R., COSTA C. (2008), Social media and Tourism Destinations: TripAdvisor Case Study

NEIS P., ZIELSTRA D. (2014), Recent Developments and Future Trends in Volunteered Geographic Information Research: the case of OpenStreetMap, Future Internet, 6, pp. 76-106.

SMYTH P., WU G., GREENE D. (2010), Does TripAdvisor makes better hotels?

SUI D., GOODCHILD M., ELWOOD S. (2013), Volunteered Geographic Information, the Exaflood, and the Growing Digital Divide, in: Crowdsourcing Geographic Knowledge Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice, a cura di Sui D., Elwood S., Goodchild M., Springer

TAPLIN B. (2013), Smartphone History: Evolution & Revolution, Bruce Taplin

TOUMINEN P. (2011), The Influence of TripAdvisor Consumer-Generated Travel Reviews on Hotel Performance.

Sitografia

http://www.ansa.it/sito/notizie/tecnologia/internet_social/2014/12/22/antitrust-multa-tripadvisor_48dcaa3a-345d-466d-9132-4bccd7fb0be8.html

http://www.ansa.it/sito/notizie/mondo/2014/11/19/multati-da-hotel-per-cattiva-recensione_2aa4454b-c67e-424b-8174-2de8cad9e734.html

http://corporate.tomtom.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=682065 12/6/2012

http://developer.apple.com/library/ios/documentation/MapKit/Reference/MapKit_Framework_Reference/

http://developer.apple.com/xcode/

http://developer.apple.com/swift/

http://disugis.units.it

http://en.wikipedia.org/wiki/App_Store_(iOS)

http://www.focus.it/tecnologia/innovazione/le-apple-maps-fanno-flop-ma-di-chi-e-la-colpa 24/09/2012

http://www.ispazio.net/507053/ecco-le-10-applicazioni-piu-utilizzate-nel-2014

http://itunes.apple.com/it/app/gislab-units/id918933012?mt=8

https://itunes.apple.com/us/app/skyscanner-compare-cheap-flights/id415458524?mt=8

http://it.wikipedia.org/wiki/Objective-C

http://www.nielsen.com/us/en/insights/news/2012/apps-dominate-mobile-time-spent-accessing-travel-in-u-s.html

http://openlayers.org/

Auto-calibrazione di fotocamere digitali amatoriali applicata a tecniche di acquisizione multi-scala in fotogrammetria dei vicini

Digital camera self-calibration for multi-scale acquisition technique in close-range photogrammetry

Emanuele Tufarolo*,**

Riassunto

La calibrazione di fotocamere ed ottiche si va ad inserire in quella che è la primissima fase del processo "di elaborazione, produzione e manutenzione dei prodotti cartografici"; ovvero la fase del rilievo fotogrammetrico che porta alla produzione delle ortofoto necessarie alla restituzione cartografica qualsiasi sia la scala richiesta dal lavoro. Due sono gli obiettivi principali che si sono voluti conseguire: aumento dell'accuratezza generale; diminuzione del numero di punti di controllo misurati a terra, con conseguente risparmio di risorse, sia in termini economici sia in termini di tempo.
Questi obiettivi sono stati perseguiti, lavorando su immagini disponibili ed acquisite in un area test. L'acquisizione è avvenuta grazie ad una fotocamera Nikon D80 abbinata ad un obiettivo grandangolare 18 mm ed a una stazione totale Leica. L'aumento dell'accuratezza è stato ricercato attraverso il processo della self-calibration, diventato estremamente utile con la grande diffusione delle fotocamere digitali amatoriali, commercializzate senza certificato di calibrazione, nel campo del rilievo fotogrammetrico in particolare nel caso di "quote di volo" ridotte. Questa fase è stata eseguita integrando software open-source e commerciali: in particolare ERDAS/LPS e ESRI ArcGIS. La diminuzione del numero di GCP misurati è stata ottenuta attraverso l'implementazione di tecniche di acquisizione multiscala. Delle immagini generali dell'area test sono state georeferenziate attraverso un esiguo numero di punti di controllo misurati topograficamente. Sono state estratte le coordinate di punti notevoli (mediante tie point) visibili in una serie di immagini di dettaglio acquisite a una quota di volo molto minore di quelle del dataset generale. La triangolazione aerea di queste fotografie è stata eseguita utilizzando le coordinate estratte come tie dalle immagini a piccola scala.

Abstract

The lenses and camera calibration are the begin of the very first step in the process "of processing, production and maintenance of cartographic products": the phase of the photogrammetric survey that leads to the production of orthophotos necessary for cartographic production, whatever the scale required by the job. There are two main goal: increased overall accuracy; decrease in the number of control points measured on the ground, with consequent savings in resources, in economic terms and in terms of time.
These objectives were pursued, working on available images and captured in a test area. The acquisition was made through a Nikon D80 coupled with a 18 mm wide-angle lens and a Leica total station. The increase in accuracy has been sought through the process of self-calibration, became extremely important with the widespread use of consumer digital cameras, marketed without calibration certificate, in the field of photogrammetry, in particular in the case of lows "flight altitudes". This phase was carried out by integrating the open-source and the commercial software: in particular ERDAS / LPS and ESRI ArcGIS. The decrease in the number of GCP measured was achieved through the implementation of multi-scale acquisition techniques. General image of the test area were georeferenced through a small number of control points measured topographically. Were extracted coordinates of notable points (using tie points) visible in a number of detail images acquired at a flight altitude much lower than the overall dataset. The aerial triangulation of these photographs was performed using coordinates extracted from the images as a tie point on small scale's photo. This technique has allowed to obtain orthophoto to large scale and with high accuracy, reducing the number of control points that was necessary to measure topographically from about 300 to about 30.

* Università di Siena, Centro di Geotecnologie, Via Vetri Vecchi 34, 52027, San Giovanni Valdarno, Arezzo, Italy – tufarolo@cgt-spinoff.it

** Premio AIC 2013

Questa tecnica ha permesso di ottenere ortofoto a grandissima scala e con elevata accuratezza portando il numero di punti di controllo che è stato necessario misurare topograficamente da circa 300 a circa 30. La bontà del processo presentato è stata confermata da alcuni controlli eseguiti attraverso il confronto degli RMSE delle varie triangolazioni aeree e mediante analisi GIS dei DEM e delle ortofoto ottenuti prima e dopo la calibrazione della fotocamera sia nelle immagini a grande scala sia nelle immagini a piccola scala. Lo scarto tra le coordinate misurate topograficamente e le coordinate calcolate sull'ortofoto, nel caso delle set di immagini a grande scala diminuisce fino ad oltre il 52%, portando ad un significativo aumento dell'accuratezza. L'utilità della calibrazione risulta evidente in ogni caso: nel caso di utilizzo di tecniche multiscala si rende assolutamente consigliabile.

Parole chiave

Fotogrammetria, ortofoto, auto-calibrazione, accuratezza, tecniche multi-scala

The goodness of the process presented has been confirmed by some checks carried out by comparing the RMSE of the various aerial triangulations and through GIS analysis of the DEM and orthophotos obtained before and after the calibration of the camera: both in the pictures on a large scale and in the images at small scale.

The difference between the measured coordinates and the coordinates calculated sull'ortofoto, in the case of the set of images to large-scale decreases to more than 52%, leading to a significant increase in accuracy. The utility of the calibration is evident in each case: in the case of use of techniques multiscale it is absolutely advisable.

Keywords

Photogrammetry, ortophoto, self-calibration, accuracy, multi-scale technique

1. Premessa

Gli argomenti trattati nel seguito dell'articolo, pur inserendosi nel mondo della produzione cartografica, si concentrano su un settore molto specifico: quello della fotogrammetria[1].

La fotogrammetria, rappresenta una tecnica di rilievo metrico basata sull'utilizzo di coppie di fotogrammi stereoscopici. La conoscenza dei parametri fisici della camera utilizzata, della posizione e orientamento della stessa al momento dello scatto, e della differenza di parallasse tra le due immagini che compongono la stereocoppia permette di ottenere informazioni metriche dalle immagini fotografiche.

I fotogrammi stereoscopici aerei, oppure i fotogrammi acquisiti da distanze ravvicinate sempre con asse verticale rispetto alla superficie del terreno, sono una delle principali fonti d'informazioni per la produzione cartografica moderna.

A livello geometrico l'area d'interesse è coperta mediante una serie di strisciate parallele. Ogni strisciata è formata da vari fotogrammi che presentano tra loro un ricoprimento (longitudinalmente alla direzione di acquisizione) tale da permettere una visione stereoscopica continua (~60%). Le singole strisciate sono, inoltre, affiancate in modo tale da presentare una ricopertura laterale solitamente compresa tra il 30% ed il 50%.

Conoscendo quindi i vari parametri di ripresa e di volo, tra cui la quota, grazie alla condizione di collinearità è possibile stabilire una relazione geometrica rigorosa tra ogni singolo punto sul fotogramma e il corrispondente punto sul terreno. Questo passaggio permette di passare dalle coordinate immagine alle coordinate terreno mediante una rototraslazione con variazione di scala.

Terminato il processo di orientamento, spesso eseguito utilizzando anche punti di controllo a terra misurati con metodi topografici, diventa possibile utilizzare le immagini all'interno di stazioni fotogrammetriche stereoscopiche, a oggi essenzialmente digitali, e collezionare le *feature* necessarie alla restituzione topo-cartografica.

1 Per una trattazione dettagliata degli aspetti teorici e pratici della fotogrammetria, impossibile in questa sede, si rimanda alla vasta bibliografia sull'argomento. Tra gli altri, il manuale di fotogrammetria edito dalla American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (McGlone, 2013)

Importanti prodotti derivati dalla fotogrammetria digitale sono i modelli digitali di elevazione e le ortofoto. La generazione dei DEM si basa sulla possibilità di calcolare la quota Z di ogni punto della stereocoppia sfruttando la loro differenza di parallasse. Sfruttando le informazioni che si ottengono dal DEM e dai punti in comune, è possibile ortorettificare e georeferenziare i diversi fotogrammi, in modo tale che la scala di rappresentazione dell'immagine sia uniforme.

2. Procedura di calibrazione

Lo scopo della fase di calibrazione di una fotocamera è quello di stimarne i parametri fisici intrinseci (lunghezza focale, *offset* dal punto principale e fattori di distorsione dell'obiettivo) e di individuare la posizione del piano di riferimento solidale con la fotocamera. Con la tecnica della *self-calibration* l'operazione viene svolta, generalmente, posizionando una scacchiera analogica di dimensioni note sul piano di riferimento e fotografandola da posizioni e con inclinazioni diverse.

Pur integrati con successivi studi e sviluppi, alla base di quasi tutti gli attuali software di *camera calibration* che sfruttano l'approccio della *self-calibration*, si pongono i lavori di Tsai (Tsai, 1987, pp. 323-344) e di Zhang (Zhang, 1999, pp. 666-673 e 2000, pp. 1330-1334). Questi algoritmi sono implementati a livello software sfruttando le librerie *OpenCV (Open-Source Computer Vision)* per la loro capacità, tra le altre, di riconoscere pattern ed angoli (Bradsky, 2000, pp. 120-126).

In un modello ideale, un fotogramma coincide con una prospettiva centrale, geometricamente rigorosa, dell'oggetto fotografato. L'operazione di restituzione fotogrammetrica si basa proprio su questo fondamento per ricostruire la posizione di un punto, cioè le sue coordinate oggetto, partendo dalle coordinate immagine corrispondenti, misurate su due o più fotogrammi. Per fare questo è però necessario ricostruire l'orientamento interno del fotogramma, in altre parole si deve conoscere la posizione del centro di presa relativamente al piano dell'immagine.

La definizione della prospettiva centrale, richiede quindi, la determinazione di 9 parametri incogniti: 6 dell'orientamento esterno (determinati con metodi topografici diretti, o indiretti mediante l'utilizzo di punti

d'appoggio con una compensazione ai minimi quadrati) più 3 parametri dell'orientamento interno riferibili alla coordinate immagine del centro di presa e alla distanza principale. Questi ultimi parametri, caratteristici della camera da presa utilizzata, vengono desunti dal certificato di calibrazione, e quindi forniti dalla ditta che ha eseguito la ripresa, oppure si possono calcolare con opportune procedure di calibrazione, procedura da adottare con le moderne fotocamere digitali commerciali.

In un modello ideale, il punto oggetto, il centro di presa e il punto immagine corrispondente sul fotogramma, come detto, devono essere allineati, cioè devono appartenere alla stessa retta immaginaria ed essere, appunto, collineari (da qui il concetto delle equazioni di collinearità alla base della fotogrammetria analitica).

Prescindendo dal modello matematico ideale, in quello fisico reale, si devono inevitabilmente considerare gli errori sistematici indotti dalla camera che provocano uno spostamento del punto immagine, dalla posizione teorica giacente sulla retta collineare al punto oggetto. Per poter utilizzare le equazioni di collinearità è dunque necessario, ed indispensabile, introdurre delle opportune correzioni alle coordinate immagine.

Da notare è che se solitamente in fotogrammetria le equazioni di collinearità sono espresse esplicitando le coordinate terreno, nel caso della calibrazione sono esplicitate le coordinate immagine. Questo è un aspetto essenziale, infatti, se nel processo fotogrammetrico le coordinate immagine sono note grazie all'utilizzo di alcuni punti d'appoggio e da queste si vuole ricavare le coordinate oggetto di ogni singolo punto P, nel processo di calibrazione di una camera si va in un certo senso a compiere il processo inverso; conoscendo la geometria reale del *target* di calibrazione e le sue coordinate oggetto, si ricavano le coordinate immagine da cui trovare la deviazione rispetto alle coordinate teoriche attese per ogni P'. Questa deviazione dalla previsione teorica rappresenta l'oggetto del processo di calibrazione.

3. Self-calibration e parametri addizionali di Brown

Tipicamente, nel caso di utilizzo di camere digitali amatoriali, tutti i parametri di orientamento interno, esterno e coordinate oggetto dei punti sono incognite. La procedura di calibrazione che meglio si adatta a questo situazione è la cosidetta SCBA, ovvero, *self-calibration* con *bundle-adjustement* (Grün & Beyer; 2001, pp. 163-193).

Questa procedura considera gli errori sistematici dovuti al processo di acquisizione dei fotogrammi; tali errori vengono calcolati ed esperessi mediante l'utilizzo dei cosidetti parametri addizionali.

Tra i diversi modelli per il calcolo dei parametri addizionali uno largamente utilizzato in fotogrammetria dei vicini e quello indicato da Brown (1971, pp. 855-866), che consta di 10 parametri (APs) relativi a:

- orientamento interno della camera (Δxp, Δyp, Δc)
- incertezza sulla forma del pixel (*skew factor* S_x)
- non ortogonalità del sistema di riferimento (*shear factor* Λ)
- distorsione simmetrica radiale delle lenti (k_1, k_2, k_3)
- distorsione tangenziale delle lenti (p_1, p_2)

Secondo questo modello i termini di correzione Δ_x ed Δ_y che compaiono nelle equazioni di collinearità estese assumono i valori (Equazione 1):

$$\Delta x = -\Delta x_0 + \frac{\Delta c}{c}\bar{x} + \bar{x} S_x + \bar{y} A + (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6)\bar{x} + p_1(r^2 + 2\bar{x}^2) + 2p_2 \bar{x}\bar{y}$$

$$\Delta y = -\Delta y_0 + \frac{\Delta c}{c}\bar{y} + \bar{x} A + (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6)\bar{y} + 2p_1 \bar{x}\bar{y} + p_2(r^2 + 2\bar{y}^2)$$

$$con: \quad \bar{x} = x - x_0, \quad \bar{y} = y - y_0 \; e \; r^2 = \bar{x}^2 + \bar{y}^2$$

Tutti i termini di queste equazioni possono essere attribuiti ad errori dovuti a cause fisiche reali, per questo il sistema prende il nome di "modello fisico".

Risolvere una *Self-Calibration* con *Bundle adjustment* significa stimare i parametri addizionali nelle equazioni e contemporaneamente i parametri di orientamento esterno di ogni immagine e le coordinate oggetto dei punti per mezzo della collimazione di un certo numero di punti omologhi in tutte le immagini. Anche se Brown indica 10 APs, oggi non tutti questi parametri vengono considerati perché modellano errori che si possono assumere assenti o comunque irrilevanti (soprattutto nell'era digitale). Tra questi, ad esempio, non verrà considerato lo *skew factor* S_x, perché i sensori digitali moderni presentano alla nascita un rapporto tra i lati pari ad 1:1 (ovvero il *form factor* del pixel è quadrato). Prove svolte con diversi software confermano che il fattore Sx è praticamente ininfluente ed in certi casi il suo utilizzo

potrebbe addirittura portare ad una *sovra-parametrizzazione* con conseguente diminuzione dell'accuratezza.

4. La calibrazione in laboratorio

Per ottenere i parametri di orientamento interno è stata eseguita la procedura di calibrazione in laboratorio ed in condizioni controllate. La fase ha preso il via sfruttando il software *GML C++ Camera Calibration*, sfruttando scacchiere di *pattern* regolari di varie dimensioni ma sempre costituite da quadrati con lati di 30 mm. I *pattern* vengono posizionati su superfici rigide in quanto un eventuale deformazione della scacchiera verrebbe corretta dal software come se si trattasse di deformazione dell'ottica e quindi verrebbero restituiti coefficienti di correzione errati, introducendo nuove deformazioni invece che eliminare quelle presenti (Vezhnevets *et alii*, 2011).

Per un'accurata calibrazione con *GML* è necessario scattare le fotografie seguendo un metodo abbastanza preciso e rispettare rigorosamente alcune condizioni: le celle dei *pattern* non devono presentare eccessive zone d'ombra, evitare il micro mosso e la presenza di pixel ambigui (utilizzando cavalletto, flash e tempi veloci), la scacchiera deve riempiere tutto il fotogramma: le distorsioni interessano principalmente le aree più esterne del fotogramma, le immagini devono essere scattate da tutte le posizioni e con tutti gli orientamenti possibili mantenendo fisso l'angolo tra piano del sensore e piano del *pattern*.

Importanti aspetti da tenere in considerazione sono (Remondino & Fraser, 2006, pp. 266-272): l'aumento della convergenza tra immagini porta ad un aumento dell'accuratezza della calibrazione, è necessario disporre di immagini scattate a diverse distanze, cercando per quanto possibile di presentare più variazioni di scala nell'immagine e tra le immagini. Si deve evitare il più possibile la co-planarità.

In laboratorio sono stati scattati 2 set di immagini. Un primo set utilizzando due griglie su piani differenti, mentre il secondo utilizzando la griglia di dimensioni maggiori (15x16) con cui, riuscendo a coprire tutto il fotogramma si prevede, in teoria, di ottenere risultati migliori. Scattando alcune immagini a scale diverse, mediante variazione della distanza tra griglia e fotocamera si risolve il problema della co-planarità. In totale vengono scattate 46 fotografie per il primo set, e 55 fotografie per il secondo (comprendendo le variazione di scala e le rotazioni di 90° della camera). Scattate le immagini vengono caricate sfruttando la procedura standard di GML Camera Calibration.

In GML, si inseriscono tutte le immagini del primo set, impostando come *Detection Method* il *Combined* e come *Calibration Type* il *New Method*, che fornisce i risultati come proposto da Zhang (2000). Avviando la *corner detection*, che per le 44 immagini utilizzate dura 8 minuti e 11 secondi (Dual Core 1.7 GHz ed 1 GB di RAM), il software mostra, con colori diversi, tutti i punti rilevati su tutte le foto (Figura 1). È sempre consigliato un ceck manuale.

Terminato il processo per entrambi i set, come previsto il secondo set presenta errori molto più bassi rispetto alla calibrazione precedente, anche di un ordine di grandezza nel caso della distorsione (con riferimento essenzialmente ai parametri di incertezza più che ai valori in sé). Infatti, la scacchiera più grande ed il maggior numero di variazioni di scala hanno permesso di avere un maggior numero di punti noti ottimali per l'effettuazione dei calcoli necessari (Figura 2).

Terminati i necessari perfezionamenti vengono restituiti i parametri di calibrazione, dove la lunghezza focale è restituita come vettore scomposto nelle componenti x e y, il PP come posizione assoluta relativa al pixel [0,0] e la distorsione secondo i coefficienti nel formato [k_1 k_2 p_1 p_2], il tutto affiancato dalla stima dell'incertezza.

La notazione della matrice relativa alla *camera matrix*, una matrice quadra 3x3, per semplificazione grafica è riportata in forma linearizzata, in cui la seconda e la terza riga seguono la prima, tra di loro separate mediante il simbolo "; ":

Focal Leght: [3004.060 3006.058] + [0.401 0.382]

Principal Point: [1937.727 1350.062] + [0.420 0.475]

Distortions: [-0.111351 0.049320 0.001153 -0.000112] + [0.000683 0.003979 0.000035 0.000038]

Camera Matrix: [3004.060 0 1937.727; 0 3006.058 1350.062; 0 0 1]

Pixel Error : [0.55 0.56]

FIGURA 1 – Punti rilevati da GML sulle scacchiere di calibrazione

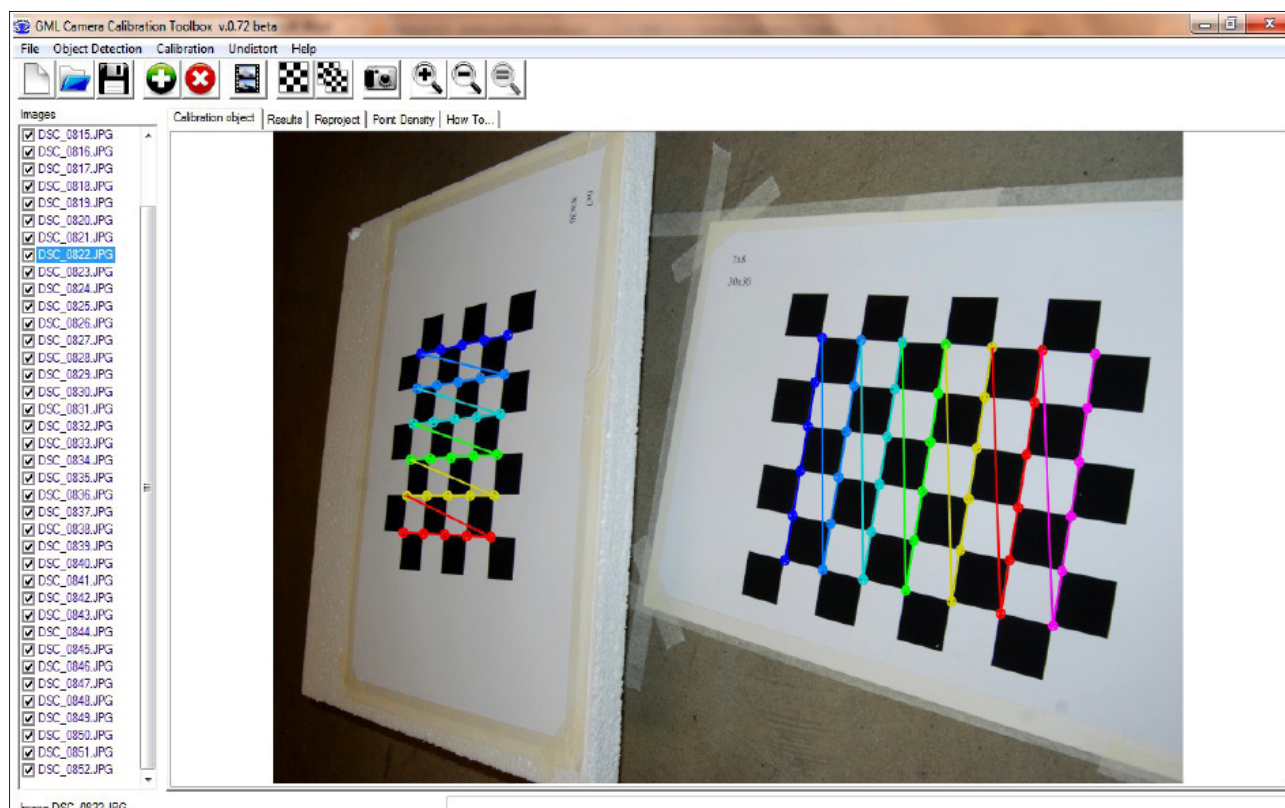



FIGURA 2 – Posizione dei centri di presa dei fotogrammi di calibrazione

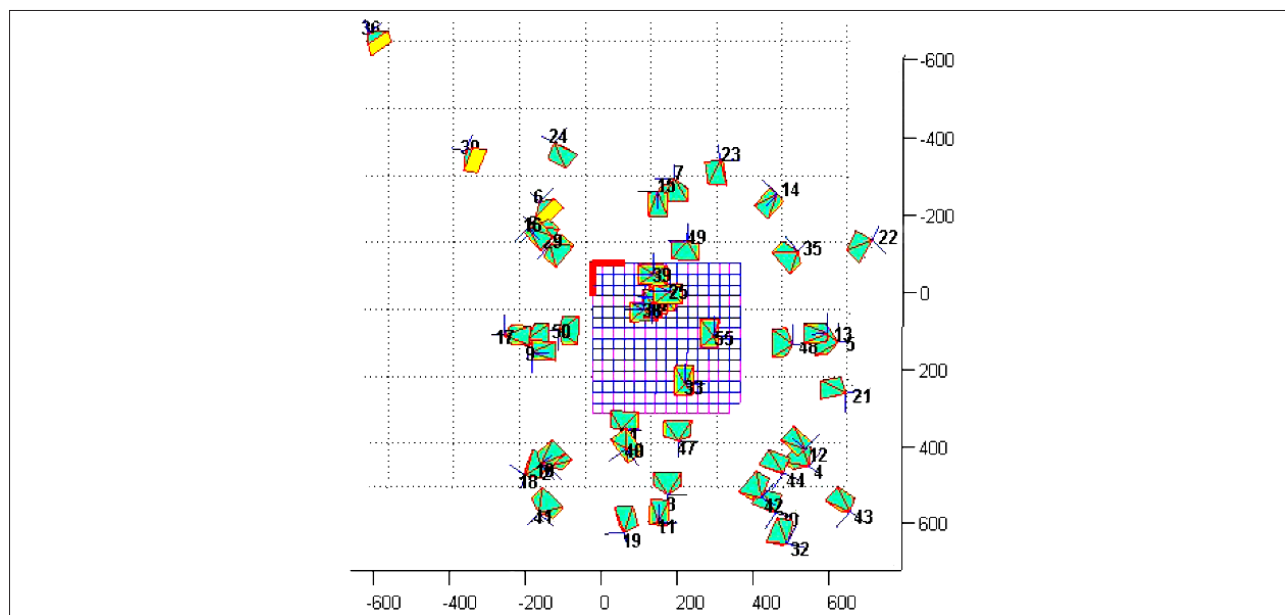
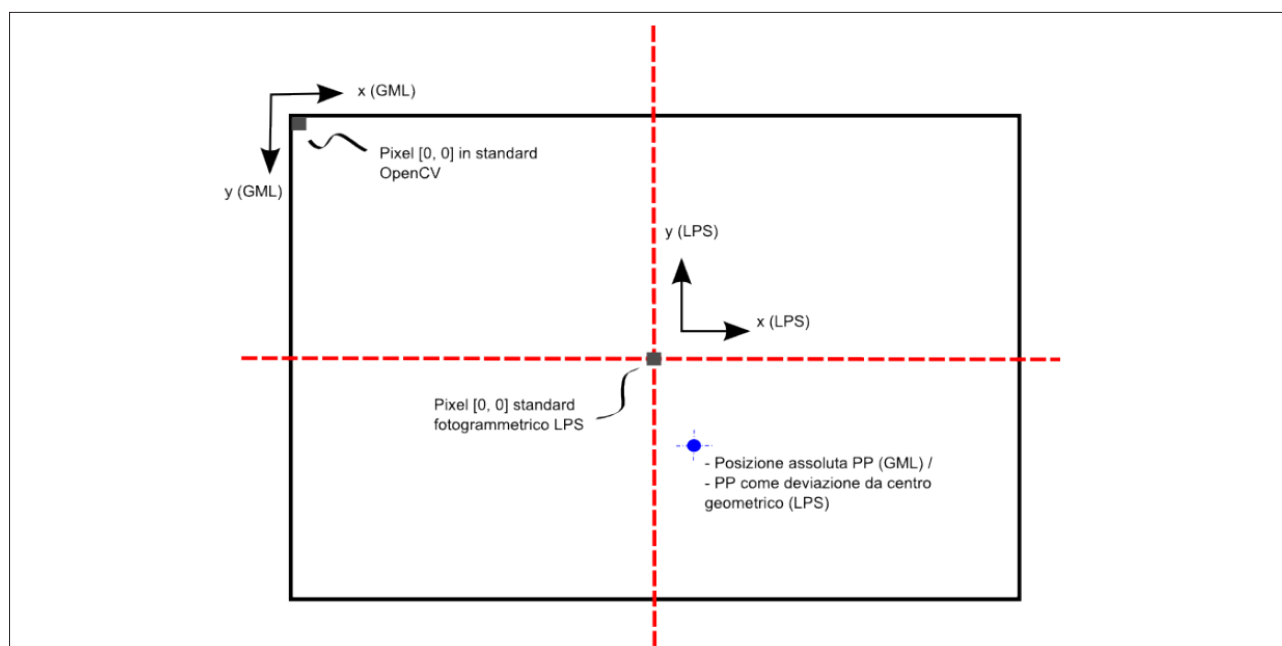



FIGURA 3 – Termini di conversione GML/LPS

Sulla base di quanto ottenuto, per cercare una conferma quantitativa dei risultati della calibrazione, questa è stata ri-effettua, utilizzando le stesse immagini ed un software alternativo, in questo caso FAUCCAL: scritto in codice MATLAB, presso il Laboratorio di Fotogrammetria della National Technical University of Athens da Douskos et alii (Douskos *et alii*, 2009). Si imposta inoltre la *Type of Distorsion* come *Ground-based*, come gli autori consigliano di fare nel caso della fotogrammetria digitale (Hartley & Zisserman, 2000). I risutlati ottenuti vengono confrontati con i precedenti: al netto degli errori calcolati e necessarie conversioni di notazione per alcuni parametri, i risultati di entrambi gli applicativi sono coincidenti. La scelta di GML come software di lavoro è dovuta essenzialmente all'esistenza nativa di una versione stand-alone, alla maggior velocità computazionale, automazione ed al facile accesso per un eventuale modifica del codice senza l'uso di ambienti di sviluppo gravati da licenze proprietarie (MATLAB).

Il formato dati ottenuto da GML non è direttamente compatibile con la notazione utilizzata da ERDAS/LPS 2010, il software scelto per portare a termine il progetto, per cui alcune conversione sono state effettuate per ottenere la *camera matrix* in formato LPS (Figura 3, Equazione 2):

$$CM(LPS) = \begin{bmatrix} 18.3008 & 0 & 0.0105 \\ 0 & 18.3008 & -0.329 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sfruttando i parametri relativi al sensore e utilizzando una procedura di triangolazione re-iterativa con la quale LPS permette di considerare un modello con parametri addizionali. Per questo lavoro viene usato il modello *Lens Distortion Model (2),* progettato espressamente per la SCBA di camere amatoriali. I parametri k_1 e k_2 vengono progressivamente raffinati fino ad ottenere un deciso miglioramento dell' RMSE sfruttando una serie di equazioni (Lps, Erdas, 2009, pp. 355-362), fermandosi nel momento che si presenta una sovra-correzione e quindi un inversione di tendenza nella diminuzione dell'RMSE.

La procedura termina con la creazione di un file .cam, contenente tutte le informazioni di calibrazione nella notazione LPS (*Focal Lenght*, pp_x, pp_y, k0, k1, k2), da utilizzare durante tutte le successive fasi di orientamento dei fotogrammi. K0 è posto pari a zero (Lps, Erdas, 2009, pp. 379-283) perché essendo K0 un para-

FIGURA 4 – Paramtri di calibrazione in formato LPS

metro strettamente correlato alla focale, il suo effetto, che nella pratica è uguale alla variazione di *c*, viene implicitamente ricompreso nella focale corretta (Figura 4).

Per rendere l'idea dell' accuratezza raggiunta, si specifica che l'*RMSE* ottenuto di 0.3550, corrisponde ad uno scarto medio di meno di 2.15 *micron* sul sensore. Inoltre, la dimuzione dell'errore tra inizio e fine calibrazione è stata significativa, la diminuzione di RMSE si è stabilizzata a -21.55%.

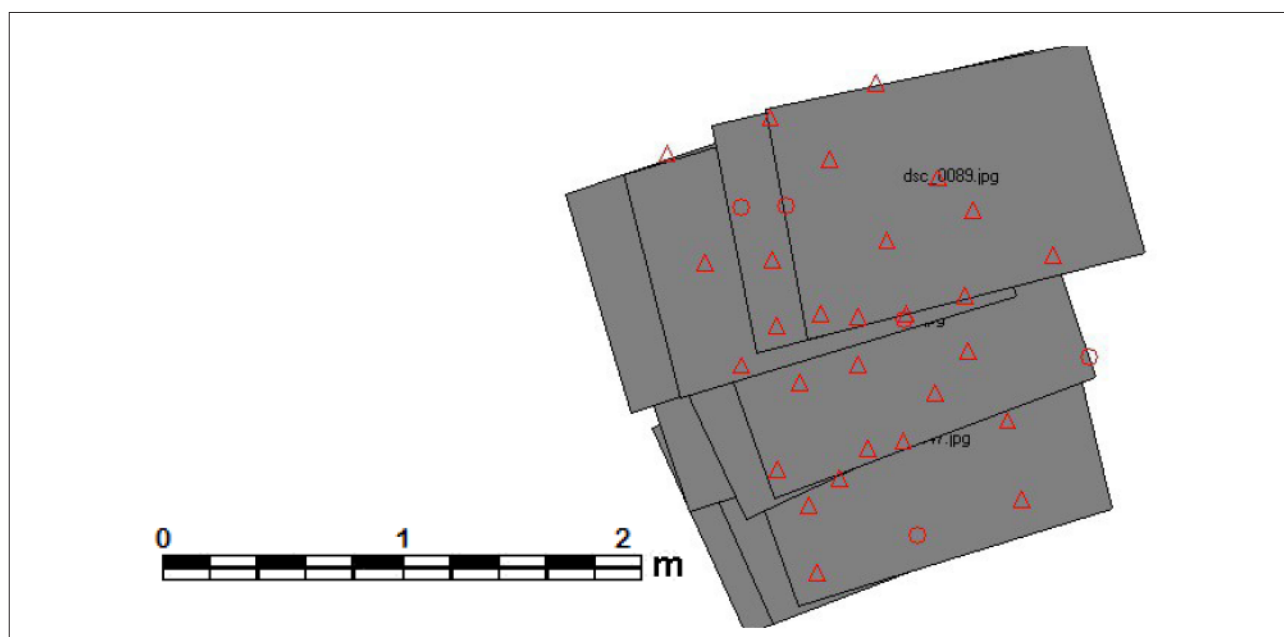
5. Test di orientamento interno, esterno e creazione di DEM ed ortofoto

Una volta ottenuti i parametri di calibrazione, è possibile orientare i fotogrammi multi-scala acquisiti in un area test. Per tali fotogrammi è stato eseguito l'O.I. con e senza i coefficienti di calibrazione. Successivamente sono quindi state svolte le procedure di O.E. e produzione di DEM ed ortofoto (a 2 differenti scale di lavoro). In questo modo si vuole verificare dal punto di vista applicativo se, e in che misura, la procedura di calibrazione effettuata influisce sui risultati finali in termini qualitativi. Sono stati acquisiti inizialmente 10 fotogrammi generali in modo da coprire tutta l'area test. Gli scatti sono stati eseguiti mediante 3 strisciate successive orientate WSW-ENE. I fotogrammi di ogni singola strisciata sono stati acquisiti con un andamento W-E lungo un'unica direzione.

I dieci fotogrammi vengono caricati in LPS all'interno di un *block file* in sistema di riferimento locale. A questo blocco viene inizialmente associata una fotocamera non calibrata, utilizzando come unico parametro di orientamento interno il pixel size: 6.09 micron.

Il *block file* sarà orientato posizionando *ground control point* e *ceck point* misurati topograficamente (Figura 5).

Dalla fase di posizionamento dei punti di legame si è iniziato a tenere in considerazione il successivo uso di immagini di dettaglio (a scala maggiore) le cui coordinate dei GCP è stato scelto che dovessero essere estratte da questo set di immagini generali. Come primo passaggio è stata avviata la generazione automatica dei *Tie Point*, in modo da irrobustire il legame all'interno del blocco. A questi punti generati in automatico ne sono stati aggiunti altri manualmente posizionati in luoghi

FIGURA 5 – Block file generale

strategici. In questo modo, eseguita la triangolazione, anche i *Tie Point* potranno fornire le coordinate da utilizzare nelle foto di dettaglio come GCP.

La triangolazione di questo blocco senza i parametri di calibrazione, a seguito di alcuni aggiustamenti manuali su alcuni punti, viene risolta ottenendo un valore di RMSE finale pari a 1.1099 pixel.

Per permettere confronti nelle fasi successive, sulla base dell'orientamento appena eseguito, sono stati generati anche un DEM singolo (passo 1 cm) e delle ortofoto per ogni area di sovrapposizione significativa. Per prevenire errori dati dalle aree esterne delle immagini, l'area di correlazione è stata

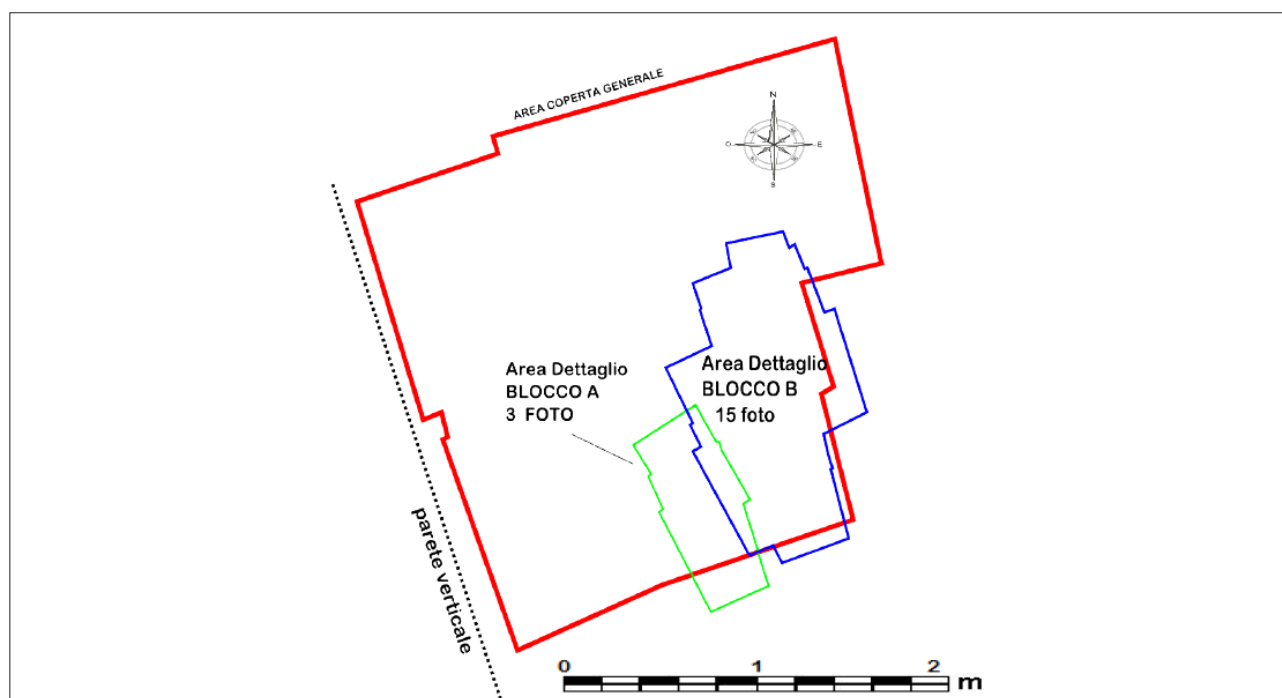
ridotta del 5%, mentre i bordi sono stati tagliati del 10%; è stata inoltre generata una immagine di *DEM quality* ("*DTM point status*") utilizzata per i confronti quali-quantitativi successivi.

Le ortofoto sono state prodotte con un passo di ricampionamento (mediante interpolazione bilineare) di 2 mm. L'ortorettifica dei singoli file è avvenuta a partire dall'orientamento esterno e dal DEM.

L'intero procedimento è stato ripetuto in toto applicando i parametri di orientamento interno ottenuti con GML e i coefficienti di correzione della distorsione radiale ottenuti nella fase di *self-calibration* con LPS. Al *block file* già creato è stato quindi associato il file .cam salvato durante la calibrazione. Applicati i nuovi parametri relativi al sensore e all'ottica, il file di orientamento caricato perde le informazioni di orientamento esterno a causa della modifica delle coordinate immagine di ogni singolo pixel. Per questo motivo è stato necessario rieffetuare il *budle adjustment* in modo da creare un nuovo legame tra le coordinate immagine e le coordinate terreno mediante le equazioni di collinearità.

La triangolazione aerea è stata effettuata con le stesse impostazioni della fase precedente per rendere i risultati confrontabili. Anche la deviazione standard per i GCP è stata mantenuta pari a 0.01 metri. Osservando l'RMSE (0.9309 pixel) e il *report*, si nota un miglioramento nel risultato della triangolazione rispetto alla precedente con una diminuzione dell'errore generale pari a 0.179 pixel corrispondente, in percentuale, al 16%.

La presa di fotogrammi di dettaglio ha riguardato circa 100 foto scattate ad un metro dal piano di campagna con strisciate di direzione ortogonale rispetto

FIGURA 6 – Posizione dei blocchi di dettaglio rispetto al blocco generale

a quelle del blocco generale. A titolo esemplificativo, sono stati creati due blocchi rispettivamente di 3 e 15 fotogrammi (Figura 6).

Per l'orientamento dei blocchi di dettaglio A e B, si è proceduto seguendo lo schema descritto per il blocco delle immagini generali. Mentre per l'orientamento interno le caratteristiche della fotocamera non calibrata sono state mantenute assolutamente identiche a quelle inserite nella fase precedentemente descritta, per l'orientamento esterno sono stati utilizzati come GCP i punti, di coordinate note, estratti come *Tie Point* dal blocco delle foto a piccola scala.

Anche la triangolazione aerea è stata effettuata rispettando i parametri utilizzati precedentemente per il blocco generale non calibrato; la *standard deviation* per i GCP è stata mantenuta pari ad 1 cm e nessun parametro addizionale è stato inserito.

Seguendo lo schema di lavoro fin qui tracciato, a tutti i fotogrammi di dettaglio è stato collegato il file contenente i parametri di orientamento interno.

L'incremento di qualità, anche questa volta, è notevole: nel caso A corrisponde a 0.2538 pixel (il miglioramento percentuale è del 27%) e si attesta al 32% nel caso B.

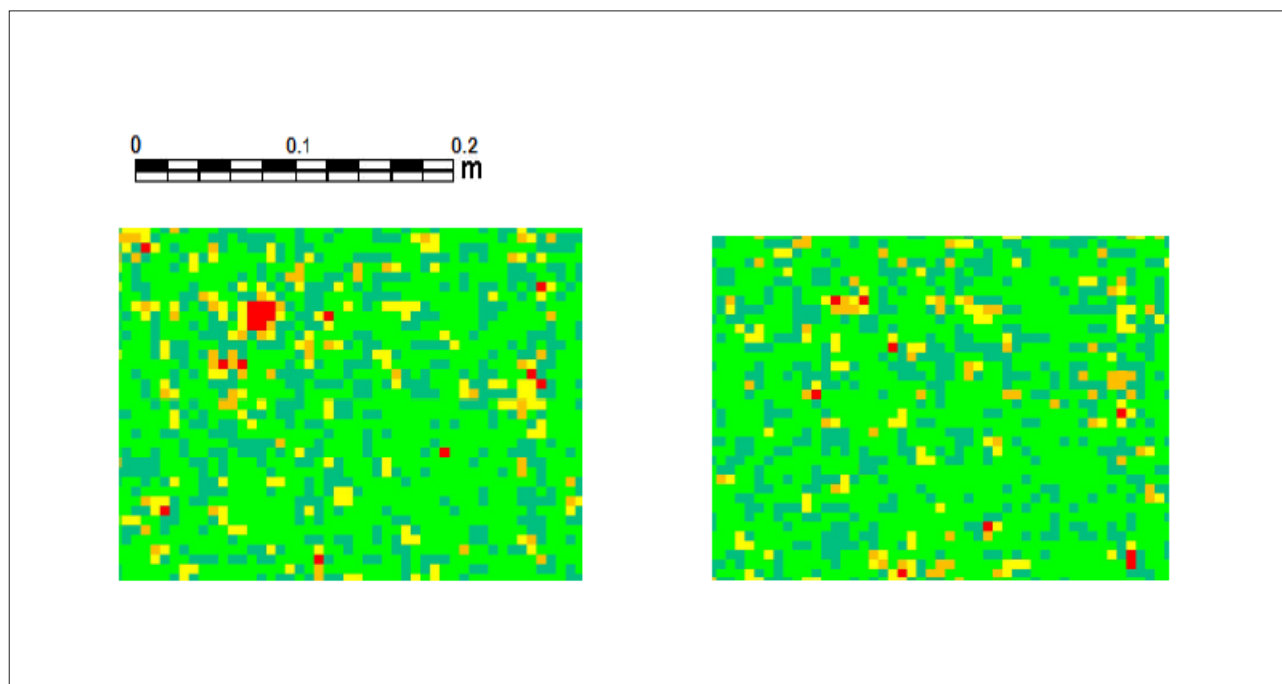
6. Risultati e criticità del processo adottato

Il confronto dei risultati ottenuti utilizzando o meno la procedura di *self-calibration*, nel caso del blocco generale, ha portato ad una diminuzione dell'errore quadratico medio pari al 16%.

Relativamente agli scarti sui singoli punti misurati si nota una diminuzione per la maggior parte dei GCP e per tutti i *Check Point* dopo la fase di calibrazione.

È importante sottolineare che, se a livello planimetrico per alcuni punti non si hanno apprezzabili diminuzioni dello scarto, per quanto riguarda la quota si ha un miglioramento generalizzato, con scarti che diminuiscono anche di 2 ordini di grandezza.

Dai report si osserva che la media degli RMSE (scomposta per X, Y e Z) per i GCP diminuisce fino ad 1 ordine di grandezza su Z, mentre per i *Check Point* (CP) si dimezza in Z e rimane circa stabile sul piano x-y.

FIGURA 7 – DEM quality pre e post calibrazione

Il blocco A, quello composto da 3 fotografie di dettaglio, presenta anch'esso una sensibile diminuzione dell'errore (da 0.9378 a 0.6840 px). Il miglioramento dell'RMSE dopo la calibrazione, per il blocco A, si attesta al 27 %. Stessa diminuzione dell'RMSE totale trova conferma anche nel blocco di dettaglio B composto da 15 fotografie (da 1.0179 a 0.6963 px) con un miglioramento, in percentuale del 32%.

Il metodo scelto per la stima quantitativa della qualità dei DEM realizzati in automatico, con e senza il processo di calibrazione, si basa su un'analisi delle immagini di *DEM quality* ottenute durante l'estrazione ed effettuata attraverso il software GIS, ESRI™ ArcMap.

I pixel considerati *Excellent* hanno un coefficiente di correlazione compreso tra 1 e 0.85, quelli indicati come *Good* hanno coefficiente tra 0.85 e 0.7. I *Fairs* sono compresi tra 0.7 e 0.5, mentre i punti del modello che non presentano dei punti immediatamente vicini sono considerati *Isolated*. I pixel vengono invece classificati come *Souspicius* quando il risultato della sottrazione tra il valore noto e quello ricalcolato da una convoluzione con una maschera 3x3 è più elevato di 3 volte la *standard deviation* delle celle adiacenti (Leica Geosystem Geospatial Imaging, 2006).

Ad un primo livello visivo-qualitativo (Figura 7) si vede una diminuzione delle celle considerate *Souspicius* nel DEM creato in seguito alla calibrazione della fotocamera ed un aumento di quelle classificate come *Excellent* in alcune aree centrali. Per quantificare queste differenze si ricorre alle tabelle degli attributi.

La calibrazione della fotocamera ha comportato un aumento delle aree classificate come *Excellent* e *Good* pari 5% e al 3% rispettivamente. Di contro l'aumento delle aree *Fairs*, *Isolated* e *Souspicius* è stato rispettivamente del 7%, del 15% e del 28%. Questo è successo perché la correzione della distorsione a barilotto ha comportato una distensione dei punti dell'immagine che prima tendevano a convergere verso il centro della stessa. I punti individuati dal matching sono di più, meglio distribuiti e con migliore qualità. Le immagini diventano però più grandi (come confermato dalla somma dei valori del campo "*count*", 175648 contro 183140, +4%) e ai bordi le aree classificate con maggiore incertezza aumentano. È comunque da considerare che la somma

delle aree classificate come *Excellent* e *Good* corrisponde all'88% del totale prima e dopo la calibrazione della fotocamera. Il DEM generato è quindi considerabile di buona qualità e la correzione delle deformazioni geometriche della fotocamera adoperata ha comportato un miglioramento, seppur minimo, dei pixel classificati come *Excellent* e *Good*.

Nel modello di elevazione ottenuto dal blocco di dettaglio A, anche le celle *Souspicius* diminuiscono di 19 unità, mentre le celle *Excellent* e *Good* aumentano rispettivamente dell' 8.27% e del 5.74%.

Meritano una considerazione anche le singole celle di bassa qualità (*fair*, *isolated* e *souspicius*) sparse anche in alcune zone centrali: esse non sono dovute a coordinate errate della cella ma piuttosto ad errori dell'interpolatore che potrebbero essere corretti attraverso l'editing manuale in stereoscopia dei punti estratti (strada che permette di ottenere la massima accuratezza ma che richiede molto tempo ed hardware adatto), oppure, come in questo lavoro, attraverso l'applicazione di un filtro di convoluzione spaziale di tipo passa-basso con finestra mobile 3x3, che elimina le variazioni ad alta frequenza e quindi i passaggi bruschi tra celle, mantenendo però le forme. Il filtro ha effettuato essenzialmente uno *smoothing* del DEM ottenuto dal processo di *Automatic Terrain Extraction* da cui sono state successivamente prodotte le ortofoto.

Nonostante, nel caso del blocco B, l'acquisizione dei fotogrammi non sia stata perfetta (orientamento della fotocamera molto variabile) e la localizzazione di questo blocco agli estremi del blocco generale (con la conseguente diminuzione di accuratezza dei *Tie Point* derivati dal blocco generale ed utilizzati come GCP nell'orientamento esterno di quelli di dettaglio) si conferma un aumento delle celle *Excellent* dell'8.41%.

Molte delle celle *Souspicius* sono localizzate agli estremi dell'area di lavoro, e quindi all'esterno dell'area in cui sono stati misurati i GCP originali. I punti estratti indicano un coefficiente di correlazione superiore alla soglia (0.85 in questo caso) e l'aumento del loro numero totale è sinonimo, a parità di caratteristiche radiometriche, di un orientamento più accurato (Tabella 1).

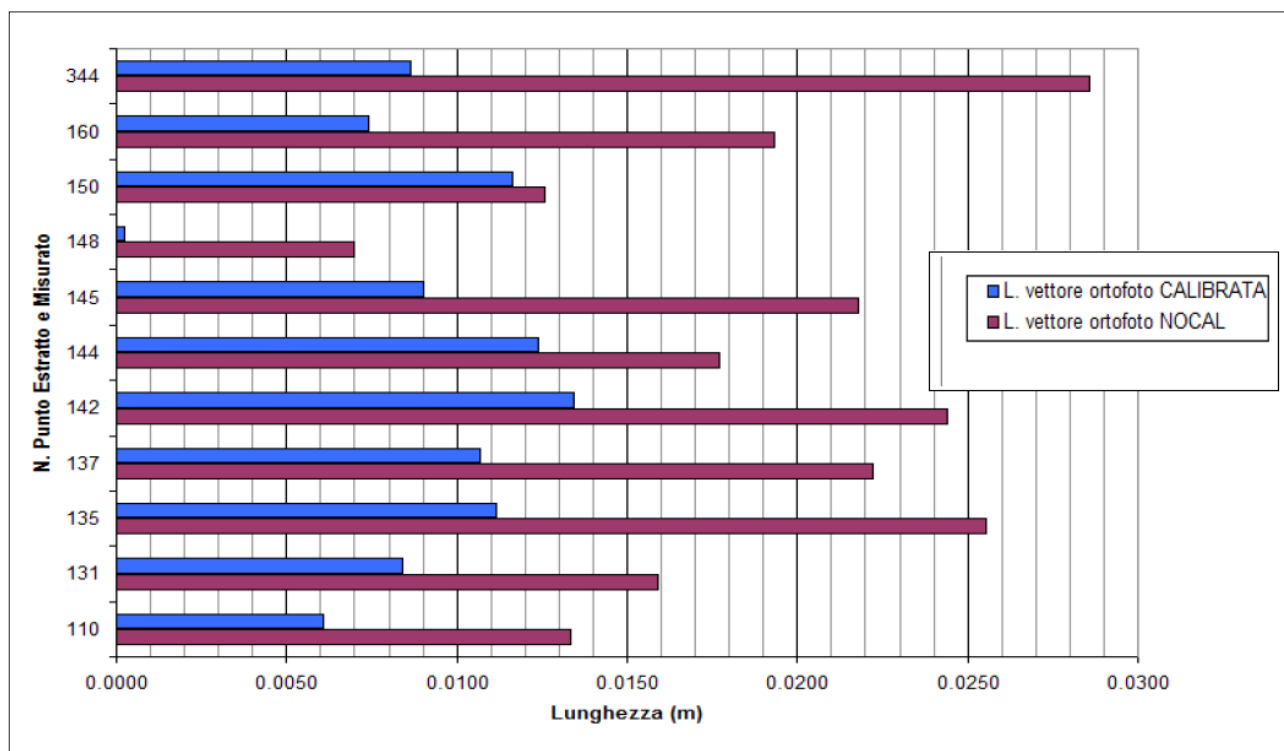
Per analizzare la qualità delle ortofoto prodotte, si sono disegnati dei vettori spostamento relatativi ai punti misurati per il blocco di immagini generali e per una parte significativa dei punti estratti come *Tie Point* per i blocchi di dettaglio A e B, in considerazione dell'esiguo numero di GCP disponibili per le foto di grande scala. L'analisi è stata effettuata con l'ausilio di ESRI™ ArcMap.

L'analisi è stata pertanto effettuata confrontando i vettori-spostamento tra la posizione reale dei GCP, e quella misurabile sulle ortofoto ottenute con e senza calibrazione della fotocamera. I GCP misurati e la loro posizione sulle ortofoto sono stati collegati con dei vettori mediante una *feature class* lineare, dove ad ogni linea sono stati associati tre attributi: il GCP di riferimento, il tipo di ortofoto (calibrata o non calibrata) e la *SHAPE_lenght*, ovvero il modulo del vettore, necessario ad effettuare i confronti.

Per tutti i GCP che ricadono all'interno dell'area del blocco generale, i vettori spostamento dopo la calibrazione presentano un modulo minore rispetto al vettore prima della calibrazione, indicando una maggior vi-

TABELLA 1 – Confronto tra numero di punti 3d

DELTA DEI PUNTI 3D ESTRATTI PRIMA E DOPO LA SCBA			
Blocco	N. punti pre-cal	N. punti post-cal	Delta
Generale	125.856	128.516	+ 2.1 %
A	8.603	9.852	+ 14.5 %
B	52.511	55.241	+ 5.2 %

FIGURA 8 – Confronto tra la lunghezza dei vettori spostamento nel caso del blocco B

cinanza tra coordinate reali e coordinate calcolate. In base a questa considerazione l'ortofoto prodotta dopo la calibrazione della fotocamera presenta una maggiore vicinanza alla realtà. La diminuzione media dei vettori spostamento è pari al 28.47%.

È stato applicato lo stesso procedimento anche ai *block file* di dettaglio A e B, con la differenza, come anticipato, che i GCP di riferimento non sono stati misurati, ma ottenuti dall'estrazione dei *Tie Point* dal *general block file*.

La diminuzione media del modulo dei vettori-spostamento risulta essere del 36.5% per A.

Nel caso del blocco B, dato l'elevato numero di punti estratti in quest'area, sono stati utilizzati per il confronto solo una parte dei punti di appoggio utilizzati, in modo da non appesantire inutilmente la restituzione grafica; il numero di punti analizzati è comunque superiore al 25% di quelli utilizzati nella triangolazione aerea. Per questo motivo si è cercato di analizzare punti ben distribuiti spazialmente nel blocco, sia nelle aree centrali sia in quelle periferiche di ogni ortofoto.

Anche per il blocco di dettaglio B, il modulo di tutti i vettori-spostamento diminuisce in modo significativo quando misurati su ortofoto prodotte dopo la *camera calibration*. La diminuzione percentuale di lunghezza si attesta in quest'ultimo caso ad un valore medio del 52.59% (Figura 8).

La difficoltà principale incontrata nella fase della calibrazione risiede nelle differenti e molteplici notazioni ed equazioni che modellano la distorsione. Una prima differenza si evidenzia nel diverso approccio che presentano software sviluppati in origine per usi differenti. Infatti, se le stazioni fotogrammetriche digitali utilizzano coefficienti di correzione puri, i software che nascono per la *Computer Vision*, o in generale per l'ingegneria, presentano i coefficienti di distorsione normalizzati.

Il tentativo di passare tra una notazione e l'altra si scontra con la non esaustiva descrizione dei processi in-

terni impiegati dai software commerciali. Questa scarsità di documentazione è stata fortunatamente bilanciata dell'estrema cura con cui vengono descritti i *software open-source* (come GML e FAUCCAL, impiegati in questo lavoro), mediante i quali, attraverso opportune conversioni e con l'utilizzo congiunto di modalità avanzate di SCBA messe a disposizione da LPS, è stato possibile giungere ad una calibrazione soddisfacente senza la necessità di rivolgersi a costosi software di *camera calibration* aggiuntivi.

L'approccio multi-scala nella presa e orientamento dei fotogrammi si è dimostrato efficace e affidabile anche se qualche maggiore accortezza deve essere considerata preventivamente nella fase di presa.

Se l'orientamento del *block file* generale è giunto al termine senza particolari problemi, qualche difficoltà la si è riscontrata lavorando con i 2 block file di dettaglio. La prima difficoltà nasce nella fase di estrazione dei *Tie Point* dal blocco generale per essere utilizzati come GCP in quelli di dettaglio. Infatti, non tutti i punti notevoli in un blocco, erano evidenti anche negli altri 2. Questo è dovuto allo spostamento delle ombre, alla diversa prospettiva e al diverso orientamento della camera da presa. Il lavoro che si va a compiere è di principio valido, ma si deve considerare di disporre di un set di GCP sufficientemente ampio da permettere la TA dei blocchi di dettaglio, nei quali se ne possono riconoscere e utilizzare molti meno.

Quando i *Tie Point* rilevati dal blocco generale divengono GCP in quelli di dettaglio, è apparsa subito evidente l'impossibilità di creare un unico *block file*, non a causa della scarsa accuratezza dei punti, ma piuttosto della grande disomogeneità di orientamento con cui sono state scattate le immagini di dettaglio.

7. Osservazioni

I risultati di laboratorio hanno confermato l'utilizzabilità di tecniche multi-scala nella fotogrammetria dei vicini. Le accuratezze raggiunte nel *bundle adjustment* e nei prodotti ottenuti dai 2 blocchi di dettaglio, dimostrano che il processo di estrazione di *Tie Point* da immagini a piccola scala, con l'obiettivo di utilizzarli come *Ground Control Point* in immagini a scala più grande, rappresenta una buona soluzione per velocizzare l'acquisizione di coordinate in campagna, oltre che essere un modo veloce ed accessibile per disporre di un elevato numero di punti di coordinate terreno note in aree di modesta estensione, o di difficile accesso, ma con un elevato numero di dettagli da acquisire e restituire.

Durante tutti i passaggi che hanno accompagnato l'orientamento e la produzione di DEM e ortofoto multi-scala, positiva è stata l'influenza che il processo di *self-calibration* della fotocamera ha apportato ai risultati finali.

Infatti, si è dimostrato come gli orientamenti e i prodotti derivati senza e con l'utilizzo dei parametri di correzione, ottenuti dall'integrazione tra GML ed ERDAS/LPS, siano molto differenti a qualunque scala di lavoro. Durante la fase di triangolazione, l'RMSE generale tende sempre a diminuire in modo significativo quando si applicano i coefficienti di calibrazione della fotocamera.

Nella creazione automatica dei DEM in formato *raster*, a fronte di minimi aumenti di celle con bassa correlazione ai bordi dei blocchi fotogrammetrici, in aree che prima della calibrazione non venivano neppure estratte, si assiste ad un generale aumento di celle considerate di qualità *Excellent* e *Good*. La generazione degli stessi modelli di elevazione, in formato ESRI™ 3D *Shape*, conferma l'aumento di qualità generale quando si lavora con camera calibrata. Dopo la calibrazione, infatti, l'interpolatore riesce ad estrarre una nuvola di punti corretta e formata da un numero maggiore di elementi.

L'analisi dei vettori-spostamento, misurati sulle ortofoto ottenute al termine del processo fotogrammetrico, evidenzia come dopo la *self-calibration* le coordinate di punti calcolate a partire dai pixel che compongono le ortofoto sono molto più prossime a quelle misurate. I vettori spostamento tra punto misurato e punto calcolato hanno sempre modulo minore quando disegnati sopra ortofoto con immagini calibrate; lo scarto tra correzione geometrica dell'immagine e realtà misurata è, quindi, sempre minore.

La fase di calibrazione, importante in qualsiasi lavoro di fotogrammetria dei vicini, diviene essenziale quando la TA si basa su punti estratti con tecniche multi-scala e diviene proporzionalmente più importante con l'aumento di dettaglio delle immagini e la diminuzione dell'altezza di volo (la distorsione radiale, a bari-

lotto in questo caso, ha effetti sempre maggiori con la diminuzione della lunghezza focale dell'obiettivo).

Questo è provato dal fatto che, se nel *block file* generale la diminuzione dell'RMSE si ferma ad un pur ottimo 16%, nel blocco di dettaglio B arriva quasi al 33%. Lo stesso incremento si riscontra anche per DEM ed ortofoto, in cui si passa rispettivamente da un miglioramento del 2% al 14.5% e dal 28% a quasi il 53%.

8. Nota

Il lavoro presentato in questo articolo è tratto dal percorso di tesi magistrale dell'autore, svolta presso il Centro di Geotecnologie dell'Università di Siena (San Giovanni Valdarno, AR) tra il 2012 ed il 2013. La versione completa della tesi è archiviata al seguente link: http://goo.gl/GzgujP.

ISSN 2282-472X

Bibliografia

ABDEL-AZIZ Y. I. & KARARA H. M. (1971) – Direct linear transformation: From comparator coordinates into objects coordinated in close-range photogrammetry, "Symposium on close-range photogrammetry", 1-19-1971. Falls Church, VA. American Society of Photogrammetry.

BOUGET, J. Y. (2010) – Camera Calibration Toolbox for Matlab®. [online] Disponibile a: http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html [Ultimo accesso 11 aprile 2013].

BRADSKY G. (2000) – The OpenCV Library,"Doctor Dobbs Journal", 25(11), 120-126. Miller Freeman Inc., San Francisco, USA.

BROWN D. C. (1971) – Close-range camera calibration, "Photogrammetric Engineering", Vol. 37(8), pp. 855-866.

DXO LABS (2012) – Guida alla lettura delle informazioni del Camera Sensor Database e del Lens Database, DxO Marks, Boulogne-Billancourt, Francia, [online], Disponibile a: http://www.dxomark.com/index.php/About/In-depth-measurements/ [Ultimo accesso: 7 aprile 2013].

DOUSKOS V., GRAMMATIKOPOULOS L., KALISPERKIS I., KARRAS G. & PETSA E. (2009) – FAUCCAL: An open source toolbox for fully automatic camera calibration, "XXII CIPA Symposium on Digital Documentation, Interpretation & Presentation of Cultural Heritage", Kyoto, Japan.

ERDAS (2010) – ERDAS Field Guide™, Erdas Inc., Norcross, USA.

GIRELLI V. A. (2007) – Tecniche digitali per il rilievo, la modellazione tridimensionale e la rappresentazione nel campo dei beni culturali. "Tesi di dottorato", Università di Bologna.

GOMARASCA M. (2004) – Elementi di geomatica. Associazione Italiana di Telerilevamento (AIT) Edizioni, Milano, Italy, 618 pp.

GRÜN A. & BEYER H. A. (2001). System calibration through self-calibration. "Calibration and Orientation of Cameras in Computer Vision", pp. 163-193. Springer, Berlin Heidelberg.

HABIB A. F., MORGAN M. & LEE, Y. R. (2002) – Bundle adjustment with self calibration using straight lines, "The Photogrammetric Record", 17(100), 635-650, Blackwell Publishing & Remote Sensing and Photogrammetric Society [Disponibile presso *Wiley online library*. Ultimo accesso 30 marzo 2013]

HARTLEY R. I. & ZISSERMAN A. (2000) – Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

LEICA GEOSYSTEM GEOSPATIAL IMAGING (2006) – Leica Photogrammetry Suite Automatic Terrain Extraction, Norcross, USA.

LPS, ERDAS (2009) – LPS 2010 Project Manual, Intergraph Corporation, Madison, USA, pp. 355-362 e 379-383.

MCGLONE J. C. (Ed.) (2013) – Manual of photogrammetry, American Soc. for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, USA.

REMONDINO F. & FRASER C. (2006) – Digital camera calibration methods: considerations and comparisons "International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 36(5), 266-272, Dresden, Germany.

SANSONI G. (2006) – Misure ottiche. Modelli di telecamere che tengono conto delle distorsioni. Laboratory of Optoelectronics, Università di Brescia. [online] Disponibile a: www.optolab-bs.it/VISIONE_3D/Modelli_con_distorsioni.pdf [Ultimo accesso: 30 marzo 2013].

TSAI R. (1987) – A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses, "Robotics and Automation, IEEE Journal of", 3(4), 323-344.

VEZHNEVETS V., CHETVERIKOV N. VELIZHEV A. & YAKUBENKO A. (2011) – GML C++ camera calibration toolbox 0.73b. [online] Disponibile a: http://graphics.cs.msu.ru/en/node/909 [Ultimo accesso: 11 aprile 2013]

ZHANG Z. (1999) – Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations, “Computer Vision, 1999. The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference”, Vol. 1, pp. 666-673. Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, USA.

ZHANG Z. (2000) – A flexible new technique for camera calibration, “Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions”, 22(11), pp. 1330-1334. Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, USA.

Errata corrige in Bollettino AIC 149/2013

Gabriele Bitelli, Stefano Cremonini, Giorgia Gatta. Analisi metrica in ambiente digitale di due carte pregeodetiche coeve condotta con metodologie non convenzionali, pag. 37
Di seguito si riportano le figure 7 e 8 corrette.

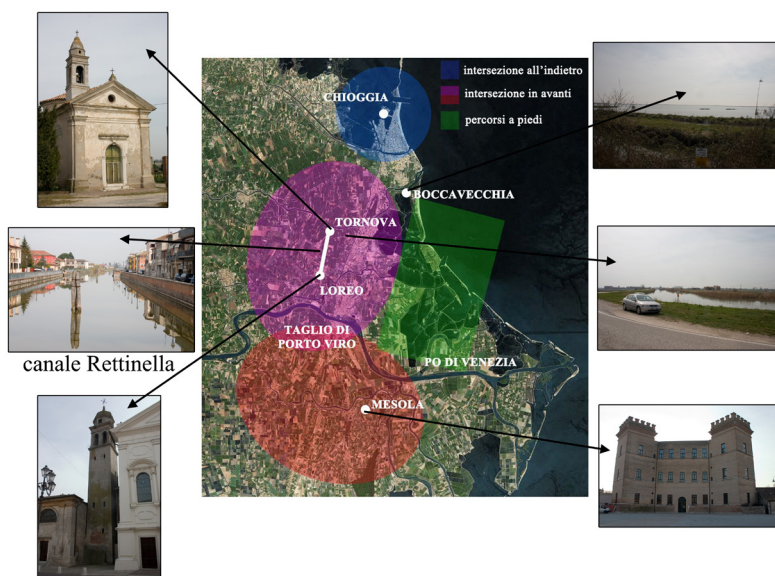



Fig. 7 – Domini operativi definibili in base alla probabile tecnica di rilievo adottata. Nel dominio di rilievo principale (in magenta) la Rettinella coinciderebbe con la base AB di Figura 4. Nei riquadri sono riportate alcune immagini del territorio odierno (foto eseguite dagli autori).

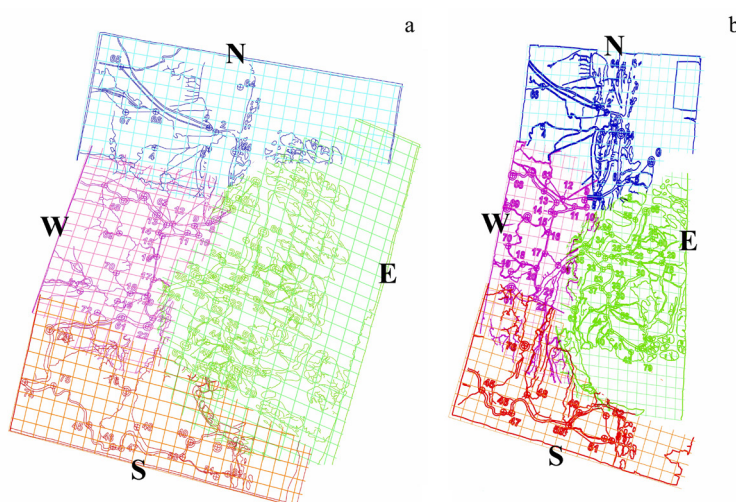



Fig. 8 – Risultato della "georeferenziazione a zone" delle Carte F (a) e P&F (b). Ad ognuna delle 4 sub-aree è stato attribuito uno specifico colore, come in Figura 7: N = blu, W = viola, S = rosso, E = verde.

 ISSN 2282-472X

Associazione Italiana di Cartografia

È un'Associazione di esclusivo carattere culturale e ha lo scopo di contribuire allo sviluppo degli studi e delle ricerche nel campo cartografico in Italia, di perfezionare la cultura professionale dei Soci e di dare il proprio apporto all'affermazione italiana all'estero, nel quadro della collaborazione internazionale.

Il Consiglio direttivo dell'Associazione per il quadriennio 2014-2017 è costituito da:

Presidente: Giuseppe Scanu
Vice Presidente: Andrea Favretto
Segretaria: Elena Dai Prà
Tesoriere: Giovanni Mauro
Consiglieri di diritto:
Direttore dell'Istituto Geografico Militare, Direttore dell'Istituto Idrografico della Marina, Direttore del Centro Informazioni Geotopografiche Aeronautiche, Direttore del Dipartimento del Territorio del Ministero delle Finanze, Direttore del Dipartimento Difesa del Suolo
Consiglieri eletti:
Serafino Angelini; Margherita Azzari; Milena Bertacchini; Giuseppe Borruso; Andrea Favretto; Giovanni Mauro; Elena Dai Prà; Maria Giovanna Riitano; Giuseppe Scanu; Paola Zamperlin
Revisori dei conti:
Francesca Krasna; Marco Mastronunzio
Probiviri:
Fulvio Landi; Sandro Savino

I Soci dell'AIC ricevono il Bollettino e partecipano alle manifestazioni culturali indette dell'Associazione.
Le quote sociali annuali in vigore sono le seguenti:

- Socio ordinario: Euro 40
- Socio collettivo: Euro 100
- Socio giovane: Euro 20

Modalità di pagamento:

- Contanti (in occasione delle Assemblee dei soci AIC)
- Bonifico Bancario: Coordinate bancarie:

Banca Popolare di Vicenza – Via Mazzini, 26 – 34121 – Trieste
Associazione Italiana di Cartografia
IBAN: IT 80 V 05728 02200 801570253533
Numero Conto Corrente: 253533
Codice SWIFT: BPVIIT21801

Codice fiscale AIC: 94000280480

Indirizzo Postale, E-mail, Sito Internet:
Indirizzo postale: Associazione Italiana di Cartografia, c/o Prof.ssa Elena Dai Prà, Dipartimento di Lettere e Filosofia, Università degli Studi di Trento, Via Tommaso Gar, 14 – 38122 Trento
E-mail: segreteria@aic-cartografia.it
Sito Internet: http://www.aic-cartografia.it/sito/